علم الفيزياء

الجزء الثاني

الدكتور

ياسين محمد عبد السلام الحلواني

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دار الجديد للنشر والتوزيع

531

ا .ي

.ياسين محمد عبد السلام الحلواني

علم الفيزياءج2 / ياسين محمد عبد السلام الحلواني .- ط1.- دسوق:دار العلم

. والإيمان للنشر والتوزيع، دار الجديد للنشر والتوزيع

. ص ؛ 17.5 × 24.5سم452

تدمك : 978 – 977 – 308 – 622 - 0

.الفيزياء 1.

أ -العنوان

رقم الإيداع : 28014 .

الناشر : دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دسوق - شارع الشركات- ميدان المحطة – بجوار البنك الأهلي المركز

elelm_aleman@yahoo.com & elelm_aleman2016@hotmail.com E-mail:

الناشر : دار الجديد للنشر والتوزيع

تجزءة عزوز عبد الله رقم 71 زرالدة الجزائر

E-mail: dar_eldjadid@hotmail.com

الفـــهرس

الفصل الحادي عشر

التركيب الذري

نظرية طومسون :

الذرة تتكون من كرة من الكهرباء مغروساً فيها عدد من الإلكترونات تكفي لضمان الحيوء الكهربائي .

نظرية رذر فورد للذرة :

بعد إجراء تجاربه على رقيقة من الذهب استنتج ما يلي :-

تتكون الذرة من نواة تحوي بداخلها شحنة موجبة وتمثل هذه النواة كتلة الذرة . أما الإلكترون يمكن إهمال كتلته .

الذرة بحالة تعادل كهربائي .

يوجد فراغ كبير في الذرة .

تدور الإلكترونات حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس .

مكونات الذرة :

أ- النواة وتتكون من :-

البروتون: جسيم موجب الشحنة ويطلق على نواة ذرة الهيدروجين ووزنه هو amu

النيترون: جسيم متعادل الشحنة يوجد داخل النواة مع البروتونات وكتلته تساوي تقريباً كتلة البروتون

وأكبر من كتلة الإلكترون بمقدار 1837 مرة والنيترونات مهمة للمحافظة على ثبات الذرة ، حيث تقلل من التنافر بين البروتونات داخل النواة ولا تتأثر بالمجال الكهربائي والمغناطيسي أي أنها غير مشحونة .

الإلكترون : جسم صغيرجداً يحمل شحنة سالبة مساوية لشحنة البروتون والإلكترونات متماثلة في جميع الذرات وتختلف في العدد من عنصر إلى أخر وشحنتها تساوي وكتلتها تساوي

والإلكترون يدور حول نواة الذرة بسرعة هائلة في مدارات محددة . وعددها يساوي عدد البروتونات وذلك في الذرة المتعادلة . وعندما تفقد الذرة إلكترون تصبح أيون موجب .وعند اكتساب إلكترون تصبح أيون سالب .

أشعة المهبط :

عند إمرار شحنة كهربية ذات جهد مرتفع في أنبوبة تحتوي على غاز عند ضغط منخفض لوحظ أن الأنبوبة تمتلئ بأشعة غير مرئية عند ضغط محدد ،وهذه الأشعة تنبعث من المهبط وتسمى الأشعة المهبطية وتتميز بما يلي :-

ذات شحنة سالبة وكتلتها هي كتلة الإلكترون وكذلك الشحنة .

نسبة الشحنة إلى الكتلة ثابتة مهما اختلف الغاز داخل الأنبوبة .

تسير في خطوط مستقيمة .

الأشعة المهبطية هي سيل من الإلكترونات .

الأشعة الموجبة :

لاحظ جولد ستاين أنه باستخدام أنابيب تفريغ خاصة تحتوى على غازات مختلفة وعند ضغط محدد تظهر أشعة تتحرك باتجاه المهبط ، دلالة على أنها تحمل شحنة موجبة وإذا كان متأخر الأنبوب مغطى ، بالفسفور ، فيمكن ملاحظة الضوء عندما تصطدم بجدار الأنبوب ، كما لوحظ أن نسبة الشحنة إلى الكتلة أقل مما يدل على أنها تختلف باختلاف الغاز داخل الأنبوبة ، وهذا يدل على أنها أيونات موجبة ، لذلك الغاز المستخدم داخل الأنبوبة أي أن ذرات الغاز فقدت أحد إلكتروناتها عندما اصطدمت بالأشعة المهبطية (الإلكترونات) .

أشعة X (الأشعة السيئة) :

إن أبسط طريقة للحصول على الأشعة السينية هي وضع فلز ما في مسار أشعة المهبط فتنبعث منه الأشعة السينية ولهذه الأشعة أطوال موجات مختلفة تعتمد على نوع الفلز إلا أنه يغلب عليها طول موجة معينة يميز هذا الفلز . ويمكن معرفة نوع الفلز من معرفة أطوال موجات الأشعة السينية الصادرة منه . ومن ثم سميت بالأشعة السينية المميزة .

حيث تم قياس أطول موجات الأشعة السينية الناتجة من معظم العناصر الصلبة المعروفة (أو مركباتها إذا تعذر الحصول على تلك العناصر في الحالة الصلبة) وذلك بإمرار الأشعة الناتجة خلال بلورة من يوديد البوتاسيوم (فعمل عمل محزور الحيود من مثالي أطوال درجات الضوء العادي) واستقبال الأشعة النافذة على لوحة فوتغرافية وبالتالي معرفة الطول الموجي لهذا الإشعاع .

وأشعة X تنبعث عندما ينتقل الإلكترون بين مدارات الأغلفة الداخلية للذرة أما الطيف الضوئي فهو الطيف الناتج عن تنقلات إلكترونات التكافؤ.

النشاط الإشعاعي Radioactivity :

يتميز العديد من النظائر سواء الطبيعية أو الاصطناعية (أي المجهزة باستخدام المعجلات أو المفاعلات النووية) بخاصية تعرف باسم النشاط الإشعاعي والنشاط الإشعاعي عبارة عن تفكك (إضمحلال) نواة النظيرة تلقائياً إلى نواة أصغر (أو نواة ذات قيمة أقل للطاقة) مع إصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا (أو إشعاعات جاما) .

وتعرف النظائر التي يحدث لها هذا التفكك بالنظائر المشعة
Radioactive isotopes تمييزاً لها عن تلك النظائر المستقرة
stable isotopes والتي لا تتعرض للتفكك .

وتحدث عملية التفكك في النظائر المشعة سواء كانت في صورة نقية أو تدخل ضن مركبات كيمائية ولا تعتمد عملية التفكك على أي من الظروف الطبيعية مثل الحرارة أو حالة النظير ... الخ .

تكك ألفا decay :

تتميز أنوية العناصر الثقيلة (الأثقل من الرصاص) بانخفاض قيمة طاقة الترابط للنيوكلون ، لذا فإن هذه الأنوية غير مستقرة عموماً ، وتتفكك إلى أنوية أ×ف وأكثر استقراراً وسينتج عن ذلك إصدار جسيمات ألفا أو بيتا مع إصدار إشعاعات جاما في العديد من الحالات . فمثلاً تتفكك نواة اليورانيوم 238 إلى نواة الثوريوم 234 الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم الفاء الذي هو عبارة عن نواة الهليوم .

النواة الأم parent nucleus :

هي النواة الأصلية النشطة إشعاعياً والتي تتفكك مثل نواة اليورانيوم 238 أو البولونيوم 218 .

ولحدوث تفكك ألفا لنظير معين يجب أن تكون كتلة نواة هذا النظير Mp أكبر من مجموع كتل كل من النواة الوليدة Md وجسيم ألفا أي جيب أن يتحقق الشرط .

ويلاحظ أن هذا الشرط يتحقق بالنسبة للعديد من النظائر الأثقل من الرصاص . لذا يلاحظ أن معظم النظائر الأثقل من الرصاص نشطة إشعاعياً بالنسبة لإصدار جسيمات ألفا ، وتكون طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نفس النظير متساوية ومساوية تقريباً للمقدار .

جسيمات ألفا particles :

هي عبارة عن نواة الهليوم المكونة من بروتين ونيوترونين وهي بذلك عبارة عن جسيمات مشحونة موجبة الشحنة تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون . لذا فأنه يمكن التحكم في مسارها باستخدام مجالات كهربية أو مغناطيسية كما يمكن تعجلها باستخدام المعجلات النووية إلى قيم عالية للطاقة . وتنتمي هذه الجسيمات إلى مجموعة الجسيمات النووية الثقيلة .

تفكك بيتا decay :

لكي تكون نواة نظير معين مستقرة يجب أن تكون النسبة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات في هذه النواة نسبة معينة وتتراوح هذه النسبة بين 1 للنظائر الخفيفة .

جسيمات بيتا : particles :

تنقسم جسيمات بيتا إلى نوعين وهما الإلكترونات والبوزيترونات . والبوزيترون هو عبارة عن جسيم مساو في كتلته للإلكترون ، ولكن شحنته موجبة ، ولما كانت هذه الجسيمات مشحونة فإنه يمكن التحكم في مسارها باستخدام المجالات الكهربية ا, المغناطيسية كما يمكن تعجيلها إلى طاقات عالية وتعرف هذه الجسيمات باسم الجسيمات الخفيفة .

إشعاعات جاما : Gamma- Radiations :

في أغلب الحيان تكون الأنوية الوليدة الناتجة عن تفكك ألفا وتفكك بيتا في حالة مثارة Excited states . ويعني هذا أن طاقة النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (الأرضية) . ولا تستطيع النواة أن تعيش في هذه الحالة المثارة طويلاً ولكنها سرعان ما تنتقل إلى حالة أقل إثارة أو إلى الحالة الأرضية ، وتتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات جاما . كذلك يمكن إثارة الأنوية المستقرة بطرق مختلفة كالتفاعلات النووية مثلاً ثم تعود هذه الأنوية المثارة من جديد إلى حالتها الأرضية بعد إصداراها للطاقة الزائدة في شكل إشعاعات جاما .

وإشعاعات جاما عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغناطيسية) كالفوتانات الضوئية

.

قانون التفكك الإشعاعي Radioactive decay law :

يعتبر التفكك الإشعاعي مع إصدار جسيم ألفا أو بيتا أو فوتون عملية إحصائية بحتة ، ويرجع السبب في ذلك إلى أنه لا يمكن معرفة الوقت الذي تتفكك فيه نواة معينة فعند وجود نواة واحدة غير مستقرة يمكن أن تتفكك هذه النواة في الحال أو خلال ثانية أو بعد ساعة أو يوم أو عدة ملايين من السنوات ، ولكن عند وجود عدد كبير جداً من أنوية النظير النشط فإن يمكن معرفة عدد الأنوية التي تخضع للتفكك وعلاقة هذا العدد مع الزمن فعند وجود عدد معين من الأنوية النشطة وليكن No في لحظة معينة من الزمن فإنه يمكن تحديد عدد الأنوية المتبقية دون تفكك خلال زمن مقداره t وذلك من العلاقة التالية .

ثابت التفكك الإشعاعي decay constant :

يعرف المعامل في العلاقة (3-1) باسم ثابت التفكك الإشعاعي . وهو عبارة عن احتمال لفكك نواه معينة في ثانية واحدة .

الشدة الإشعاعية the activity :

في معظم الأحيان يكون المطلوب هو معرفة عدد النويات التي تتفكك في الثانية وليس عدد النويات الباقية دون تفكك والمحددة بالعلاقة (3-1) ويسمى عدد النويات التي تتفكك في الثانية الواحدة من عينة مشعة باسم الشدة الإشعاعية للعينة . ويرمز للشدة الإشعاعية في لحظة إعداد العينة بالرمز Ao . وبمرور الوقت تتناقص الشدة الإشعاعية A للعينة تبعاً للقانون

عمر النصف Half-life1/2 :

عمر النصف للنظير المعين هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها الشدة الإشعاعية للعينة المجهزة من هذا النظير إلى النصف . وبمعنى آخر فإن عمر النصف هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النويات الموجودة في العينة ويرتبط عم النصف بثابت التفكك بالعلاقة (5-1)

ويختلف العمر النصفي باختلاف النظير ، فهناك نظائر لا يتعدى عمرها النصفي جزء من الميكروثانية وأخرى يزيد عمرها النصفي على 10 سنة .

ولإيضاح معنى العمر النصفي نفرض أن لدينا مصدراً من الكوبالت 60 الذي يبلغ عمره النصفي 5.27 سنة . ونفرض أن الشدة الإشعاعية للمصدر عند التجهيز كانت 10 كوري . بعد مرور فترة زمنية مقدارها 5.27 سنة أخرى تتناقص شدته إلى النصف مرة أخرى

وتصبح 2.5 كوري، ثم بعد مرور 5.27 سنة أخرى تتناقص إلى النصف وتصبح 1.25 كوري وهكذا .

وحدات قياس الشدة الإشعاعية unit of radioactivity :

كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الإشعاعية للعينة هي الكوري (ci) curie وأجزاؤه وهي الميللي كوري mCi والميكروكوري M Ci والكوري وحدة كبيرة ، حيث أن العينة التي تصل شدتها إلى 1 كوري هي تلك العينة التي يحدث فيها 3.7 × 10 تفكك وتستخدم الآن وحدة عيارية دولية لقياس الشدة الإشعاعية . وهذه الوحدة هي البيكريل bequerel وهي عبارة عن تفكك واحد في الثانية .

علاقات الكتلة للذرة :

العدد الذري :

هو عدد البروتونات في نواة ذرة العنصر وهو يساوي عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة .

عدد الكتلة :

هو مجموع أعداد البروتونات والنيترونات داخل نواة الذرة (ما عدا الهيدروجين) .

الوزن الذري :

مجموع أوزان مكونات الذرة التي توجد داخل النواة وخارجها وهو (وزن الذرة بالنسبة لوزن ذرة نظير الكربون(12) .

النظائر :

هي ذرات لعنصر واحد تتفق في العدد الذري وتختلف في الوزن الذري (أي أن عدد النيترونات مختلف) وكذلك تختلف في رقم الكتلة بالطبع .

ومعظم العناصر تحتوي على خليط من النظائر .

الإشعاع الكهرومغناطيسي :

قام نيوتن بإجراء تجربة إمرار ضوء الشمس خلال موشور زجاجي ولاحظ انقسام الضوء إلى ألوان سبعة هي (أحمر - برتقالي أصفر - أخضر - أزرق نيلي - بنفسجي) وهي التي تعرف بألوان الطيف وهي ألوان قوس قزح .

ومسطح الإشعاع الكهرومغناطيسي يطلق على أنواع مختلفة من الأشعة وذلك حسب طولها الموجي ، والضوء يسير على شكل موجات كهرومغناطيسية وطول الموجة هو المسافة بين قمتين أو قاعين .

ويمكن حساب سرعة الضوء من العلاقة التالية :

طول الوجه ووحدته Cm

التردد ووحدته Sec

سرعة الضوء Cms

طيف الانبعاث :

عند تعريض المادة لطاقة معينة تمتص إلكترونات هذه المادة الطاقة وتنتقل من مداراتها إلى مدارات أعلى في الطاقة وتصبح الذرة في حالة مثارة ثم تفقد هذه الطاقة على شكل إشعاع منبعث وترجع إلى الحالة المستقرة .

أي أن طيف الانبعاث يحدث عندما ينتقل الإلكترون من مدار أعلى في الطاقة إلى مدار أقل في الطاقة .

طيف الانبعاث لدرة الهيدروجين :

لكل ذرة طيف انبعاث مميز يستخدم للتعرف عليها وطيف ذرة الهيدروجين من أبسط الأطياف ، حيث أن الذرة تحتوي على إلكترون واحد وبروتون واحد .

وعند تعريض ذرة الهيدروجين لمصدر طاقة فإنه يعطي طيف انبعاث في مناطق مختلفة هي منطقة الأشعة تحت الحمراء ومنطقة الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية .

ويحتوي طيف ذرة الهيدروجين في المنطقة المرئية على عدد من الخطوط تعرف بمتسلسلة بالمر .

نظرية بور لذرة الهيدروجين :

فروض نظرية مور :-

تتكون الذرة من نواة بها بروتون ومن إلكترون يدور حول النواة في مدارات محددة ويبعد عنها مسافة معينة وقوة الجذب إلى النواة تعادل قوة الطرد الناتجة عن دوران الإلكترون في مداره بسرعة .

الطاقة الكلية للإلكترون ثابتة في أي مدار ا من مداره ولا يسع أي طاقة أثناء وجوده في مداراته الثابتة .

ليس كل المدارات مناسبة لأن تشغل بإلكترونات بل يقتصر ذلك على المدارات التي تكون لها كمية الحركة الخاوية تساوي .

اكتساب الإلكترون لطاقة معينة ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى وعند فقدان هذه الطاقة يرجع إلى موضعه الأصلي ، ومقدار الطاقة المكتسبة أو المفقودة هو الفرق بين المستويين وهذه الطاقة تنبعث على شكل فوتون .

فرضية دي ربوجلي :

توصل إلى أن الضوء له خواص موجبة وجسيمية في نفس الوقتقاعدة الشك لها يزتبرج .

لا يمكن تحديد مكان الإلكترون وقياس عزمه (سرعته) في نفس اللحظة بدقة ، بل هناك نسبة خطأ ولا تقل عن نسبة الخطأ في مكان الإلكترون ونسبة الخطأ في عزم الإلكترون .

ويعود السبب في تعذر إجراء مثل هذا القياس في نفس اللحظة بدقة لتأثر الإلكترون بفوتون الضوء المستخدم في جهاز القياس (ووفقاً لهذه القاعدة فإنه لا يمكن تحديد مسار الإلكترون في مداره حول النواة تحديداً ثابتاً ولكن يمكن تحديد احتمال وجوده في مداره حول النواة في وقت معين .

ميكانيكا الكم :

المعادلة الموجبة :

معادلة شرود نجر لحركة جسم في بعد واحد وقد استعمل شرود نجر الذي وضع أسس فطرية الكم الحديثة فرضيات دي بروجل وصبراً هيستبرج في وضع معادلته الموجبة لوصف سلوك الإلكترون .

الطاقة الكلية :

وتعتمد طريقة شرود نجر على معادلة المجموعة من القواعد التي تسمح بوصف سلوك المادة وخاصة في النظم التي تحتوي على جسيمات في مناطق ذات أبعاد صغيرة جداً كأبعاد الذرات والجزيئات .

ويمكن تطبيقها لوصف سلوك الأجسام الصغيرة جداً ذات الأبعاد الذرية والجزئية .

وفي دراسة الذرات والجزئيات تكون الطاقات ومواضع الجسيمات هي الكميات ذات الأولوية الهامة .

وتغطي معادلة شرود نجر قيمة الطاقات مباشرة ولكنها تعطي معلومات أقل دقة عن موضع الجسيمات في النظام ونحصل من ميكانيكا الموجه على احتمال وجود الجسم في موضع معين فقط ، ويتضح أن عدم الحصول على معلومات دقيقة عن موضع الجسم بالضبط عند وقت معين خاصية أساسية في الطبيعة وليس عيباً من في طريقة شرود نجر وقد أمك من حل معادلة شرود نجر استنتاج أعداد ، وهكذا يتضح لنا من معادلة شرود نجر للإلكترون أنه لا يوجد لهذا الإلكترون سكان يمكن تحديده بدقة في الذرة ، ذلك يلجأ إلى استعمال مفهوم الكثافة الإلكترونية لتمثيل احتمال وجود الإلكترون حول النواة ،إذ يكون احتمال وجوده في مكان أكبر كلما كانت الكثافة الإلكترونية أعلى .

نظرية بلانك :

قام العالمان بلانك وإينشتين بإجراء تجارب أثبتا فيها أن للضوء خاصية جسيمية بالإضافة إلى الخاصية الموجبة ، كما بين بلانك أن الضوء يتكون من فوتونات ، وطاقة الفوتون تعطي بالعلاقة .

حيث E طاقة الفوتون E = ho

H ثابت بلانك

تردد الفوتون

نظرية دي بروجلي

وقد وضع دي بروجلي معادلة لقياس طول موجه الإلكترون المتحرك حيث

دخول موجه الإلكترون

M كتلة

V سرعة

وقد توصل دي بروجلي إلى هذه المعادلة من أبسط معادلة التي تبين العلاقة بين الطاقة والكتلة ومعادلة بلانك وقد وضع افتراض دي بروجلي عقبه أخرى أمام نظرية بور فلو كانت نظرية بور صحيحة في افتراضها أن الإلكترون يدور حول النواة في مدار محدد وثابت ، كما أن باستطاعتها تحديد مكانه بدقة عند أي لحظة ، وهذا غير ممكن من الناحية العلمية.

أعداد الكم :

تشمل أربعة أعداد تحدد بعد الإلكترون عن النواة وشكل المدار الذي يدور فيه الإلكترون ، واتجاه المدار بالنسبة للنواة وهذه الأعداد تبين توزيع الإلكترونات في المدارات ، أما العدد الرابع فيبين اتجاه دور الإلكترون حول نفسه (غزل)

عدد الكم الرئيسي :

العدد الذي يصف بعد الإلكترون عن النواة وبالتالي طاقته ويرمز له بالرمز ويأخذ أرقام صحيحة ويقابل كل غلاف إلكتروني عدد الكم الثانوي .

عدد الكم الثانوي :

العدد الذي يصف شكل المدار الذي يدور فيه الإلكترون ويرمز له بالرمز ، ويأخذ القيم .

وتعتمد قيمته على قيمة عدد الكم الرئيسي .

عدد الكم المغناطيسي :

العدد الذي يحدد اتجاه المدار الذي يوجد فيه الإلكترون ويرمز له بالرمز m ويأخذ القيمة وتعتمد قيمته على قيمة عد الكم الثانوي .

عدد الكم المغزلي :

العدد الذي يحدد كيفية دوران الإلكترون حول نفسه هل هو في اتجاه عقارب الساعة أم عكس اتجاه عقارب الساعة أي أن إلكترونين في مدار واحد يكون لها دوران مختلف .

المدارات الذرية :

هي دالة احتمال نسبة توزيع الكثافة الإلكترونية في الفضاء .

أشكال المدارات :

المدار S شكل كروي ويختلف حجم الكرة باختلاف عدد الكم الرئيسي ، كلما زاد عدد الكم الرئيسي زاد حجم الكرة ويوجد في كل مستوى .

المدار P يبدأ ظهوره في الغلاف الثاني وله ثلاث مدارات فرعية على هيئة فصين .

المدار d يبدأ الظهور في المستوى الثالث (الغلاف الثالث) عندما تكون L= 2 له خمسة مدارات فرعية .

وهذه المدارات تشبه مدارات p

طاقات المدارات :

يحدد طاقة المدار عدد الكم الرئيسي في ذرة الهيدروجين عند وجود ذرات بها إلكترونات كثيرة فإن الذي يحدد طاقة المدار هو كل من عدد الكم الرئيسي والثانوي .

الترتيب الإلكتروني للعناصر : هو الكيفية التي تتوزع بها الإلكترونات في مدارات الذرة .

تملأ المدارات بالترتيب حسب طاقته بحيث أن الأقل في الطاقة يملأ أولاً .

ترتيب ملء المدارات :

في الذرات عديدة الإلكترونات يعتمد ملء المدارات على كل من L,n

وتم ترتيب مستويات الطاقة بناء على قيم n,l حيث أنه عندما تكون (n+L) هي : الأقل تكون أقل في الطاقة وعندما تساوي (n,L) في مدارين فإن الذي يملء أولاً هو الأقل في قيمة n.

مبدأ الاستبعاد لباولي :

لا يمكن أن تتساوي أعداد الكم الأربعة لأي إلكترونين في ذرة واحدة

قاعدة هوند :

تميل الإلكترونات لأن تكون منفردة في المدار الذري ما لم يكن عددها أكبر من عدد هذه المدارات .

ملاحظات :

كل مدار يتسع لإلكترونين بدوران مختلف .

يحدد أقصى عدد للإلكترونيات في الغلاف عدد المدارات ولوحظ أن أقصى عدد هو كما أن أقصى عدد للمدارات في الغلاف = n

أكثر الذرات ثباتاً هي التي تحقق قاعدة ، هوند مثال

تعتمد طاقة الإلكترون في ذرة الهيدروجين على قيمةn ، أما م الذرات عديدة الإلكترونات فتعتمد على قيم كل من L,n .

كلما قلت قيمة L كلما قلت طاقة المدار في نفس الغلاف أي أن طاقة 3Sأقل من طاقة 3P وبالمثل نجد أن 4S أقل من طاقة 3d ، حيث تعتمد طاقة المدار على قيم كل من L,n .

يتم ملء المدارات بناء على الأقل في الطاقة .

تحت الأغلفة الفارغة أو النصف مملوءة أو المملوءة تماماً تكون أكثر ثباتاً من غيرها .

الصفات المغناطيسية .

تسمى المواد التي تنجذب إلى مجال مغناطيسي خارجي بالبارا مغناطيسية ، والمواد التي لا تتأثر بالمجال المغناطيسي ديا مغناطيسية ، وقد وجد بالتجارب العملية أن ذرات البارا مغناطيسية تحتوي على واحداًأو أكثر من الإلكترونات المفردة تدور بدوران متشابه مثل F, B, Li ، بينما تكون جميع إلكترونات المواد الدايا مغناطيسية متزاوجة paired مثل Ar ، Ne ، He .

ويظهر الصفات المغناطيسية للعناصر من دوران الإلكترون حول نفسه وحول النواة بمجال معين وينتج عن الدورانين نعزف مغناطيسي أحدهما ينتج عن دور أي إلكترون حول النواة ويسمى عزام بدادي ، والآخر ينتج عن دوران الإلكترون حول نفسه وبعزم مغزلي .

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن تحديد عدد الإلكترونات المفردة في الذرة أو الجزيء أو الأيون باستعمال غيار مغناطيسية إذا وجد أن المجال المغناطيسي للإلكترون المفردة يعزز بعض ببعض ، بينما نجد أن المجال المغناطيسي للإلكترون يلقي المجال المغناطيسي لإلكترون آخر متزاوج معه

الفصل الثاني عشر

نظرية الكم والتركيب الإلكتروني للذرات

تتيح نظرية الكم فهم وتوقع الدور المهم الذي تلعبه الإلكتروناتفي الكيمياء. حيث تطرح دراسة الذرات عدد من الأسئلة:

كم عدد الإلكترونات الموجودة في كل ذرة.

ما هي الطاقة التي يحملها كل إلكترون من الإلكترونات الموجودة في الذرة.

أين يوجد الإلكترون في الذرة.

وتحمل الإجابة على كل هذه التساؤلات تفسيرات مباشرة لسلوك المواد المختلفة في تفاعلاتها الكيميائية.

من الفيزياء التقليدية إلى نظرية الكم

لم تلق المحاولات التي بذلت في القرن التاسع عشر الميلادي أي نجاح في فهم سلوك الذرات والجزيئات. حيث كان الافتراض هو أن معالجة الذرات والجزيئات تكون على أساس أنها كرات مترابطة وذلك لتفسير الخواص العيانية macroscopic properties للمواد مثل ضغط الغازات، ولكن هذه النظرة لم تكن قادرة على تفسير خواص المادة على مستوى الجسيمات الصغيرة المكونة للوحدات الأساسية لها (الجزيئات والذرات) وقد استغرق الأمر وقتا طويلا ليستوعب العلماء أن سلوك هذه الجسيمات المتناهية الصغر ليس محكوما بقوانين الفيزياء التي تفسر سلوك الأجسام الكبيرة.

ومع الدراسات التي قام بها العالم الشاب (آنذاك) ماكس بلانك Max Planck في مجال دراسة الإشعاعات التي تنبعث من الأجسام حين يتم تسخينها لدرجات مختلفة بدأ عهد جديد للفيزياء. فقد وجد بلانك أن الذرات والجزيئات تبعث الطاقة فقط عند قيم معينة سماها كمات الطاقة quantum بعكس الفكرة السائدة من أن الطاقة هي كمية متصلة بمعني أن انبعاث الطاقة من أي مادة يمكن أن يكون بأي قيمة. وهذا ما جعل نظرية بلانك للكم تقلب أسس الفيزياء رأسا على عقب وجعل نظرة العلماء وأبحاثهم اللاحقة في هذا المجال تغير المفاهيم القديمة للفيزياء التقليدية إلى الأبد.

خواص الموجات Properties of waves

لنفهم نظرية بلانك للكم علينا أولا أن نعرف الأشياء الأساسية المتعلقة بخواص الموجات waves. تُعرف الموجه بأنها اضطراب ينشأ في الوسط بما يسمح بانتقال الطاقة. ويمكن فهم الخواص الأساسية للموجات عن طريق مراقبة ما يحدث في الموجات المتولدة على سطح الماء .

فالتغيرات المنتظمة في القمم والقيعان المكونة للموجات تمكننا من فهم كيفية سريانها. تتميز الموجات بمعرفة طولها وارتفاعها وكذلك بعدد الموجات التي تمر في نقطة واحدة لكل وحدة زمنية (ثانية).

يُعرف الطول الموجي λthe wavelength بأنه المسافة بين أي نقطتين متماثلتين في موجتين متعاقبتين فلو حددنا نقطة على قمة أي موجة فإن الطول الموجي هو المسافة بين هذه القمة وقمة الموجة التي تليها مباشرة. ويُعرف التردد the frequency**ν** بأنه عدد الموجات التي تمر في نقطة ما في ثانية واحدة. أما سعة الموجة amplitude فإنه مقدار ارتفاع الموجة أو انخفاضها عن السطح المستوي الأساسي الموجود قبل حدوث الاضطراب.

وتعتبر السرعة أيضا من الخواص المهمة للموجات وهذه الخاصية تعتمد على نوع الموجة وعلى طبيعة الوسط الذي تمر به الموجة (أي إن كانت الموجة تسير في الهواء أو الماء أو الفراغ). وتحسب سرعة الموجة على أنها حاصل ضرب الطول الموجي في التردد. ويمكن تفسير هذه العلاقة على أساس أن λ تعني طول الموجة أي المسافة بالنسبة للموجة distance/wave أما التردد **ν** فهو فهو عدد الموجات التي تمر في هذه النقطة في كل ثانية أي أنها الموجة بالنسبة للزمن wave/time وبضرب هذه القيم الجديدة المعبرة عن الطول الموجي والتردد نحصل على قيمة فيزيائية تمثل distance/time وهذا هو تعريف السرعة كما نعرفه.

تعطى وحدات الطول الموجي باستخدام وحدات المتر أو أجزاءه (عادة السنتمتر cm والنانومتر nm). ويعبر عن التردد بوحدات الهيرتز Hertz التي تساوي مقلوب وحدة الزمن فهي حسب نظام SI تساوي sec-1.

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation

هناك أنواع عديدة من الموجات مثل الموجات التي تتولد على سطح الماء أو الموجات الصوتية أو الموجات الضوئية. وقد اقترح العالم جيمس كلارك ماكسويل في العام 1873م أن الضوء المرئي يتكون من موجات كهرومغناطيسية magnetic waves. وعلى حسب نظرية ماكسويل تتكون الموجة الكهرومغناطيسية من مجال كهربي ومجال مغناطيسي متعامدين على بعضهما بحيث أن لهما نفس الطول الموجي والتردد أي لهما نفس السرعة . وقد ظهرت أهمية نظرية ماكسويل في أنها أعطت تفسيرا رياضيا للسلوك العام للضوء. حيث أنها قدمت تفسيرا لكيفية اختراق الإشعاعات الضوئية للفضاء على هيئة مجالات كهربية ومغناطيسية متذبذبة. وبذلك فإن الإشعاع الكهرومغناطيسي هو انبعاث وانتقال الطاقة على هيئة موجات كهرومغناطيسية. تسير الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة 3 × 810 متر/ثانية (بعد التقريب). وتختلف هذه السرعة باختلاف الأوساط التي يمر خلالها الضوء (ولكنه اختلاف لا يؤثر على الحسابات بمستوى الدقة التي نحتاجها في هذه المرحلة التعليمية).

وقد تم الاصطلاح على استخدام الرمز c للتعبير عن سرعة الموجات الكهرومغناطيسية وهو الثابت الذي نسميه عادة بسرعة الضوء speed of light. تعطى قيم الأطوال الموجية عادة بوحدات النانومتر nm خاصة لتلك التي تقع في الجزء المرئي والتي تسمى الضوء المرئي Visible light الذي يمثل جزءا صغيرا من الإشعاع الكهرومغناطيسي والذي يقسم إلى مناطق تختلف باختلاف أطوالها الموجية وتردداتها.

تستخدم محطات الإرسال هوائيات طويلة حتى يمكنها أن تبعث موجات الراديو التي طولها الموجي كبير يصل إلى بضعة أمتار. أما الأشعة المرئية ذات الأطوال الموجية الأقصر فهي تنبعث من حركة الالكترونات في الذرات والجزيئات. أما أشعة جاما γ ذات الأطوال القصيرة جدا والطاقة العالية جدا فهي تنتج من حركة الجسيمات المكونة للنواة.

نظرية الكم للعالم بلانك Planck's Quantum Theory

تفترض الفيزياء الكلاسيكية أن الذرات والجزيئات يمكنها أن تمتص أو تبعث أي كمية من الطاقة. ولكن نظرية بلانك تفترض أن امتصاص أو انبعاث الطاقة يجب أن يتم بكميات محددة فقط وكأنها طرود أو صناديق صغيرة وقد أطلق بلانك على هذه القطع الصغيرة من الطاقة اسم كمات quantum والتي تعني أصغر كمية من الطاقة يمكن أن تبعثها أو تمتصها المادة بصورة اشعاع كهرومغناطيسي. وقد وضع بلانك المعادلة الآتية التي تعطي طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي.

$$E = h\nu$$

حيث h ثابت بلانك

ν هو تردد الإشعاع.

وتبلغ قيمة ثابت بلانك $6.63 \times 10^{-34} J.s$ حيث

$$\nu = c/\lambda$$

وبذلك تصبح معادلة بلانك على الصورة

$$E = h\,c/\lambda$$

وبحسب نظرية الكم فإن الطاقة يجب أن تبعث دائما على هيئة مضاعفات صحيحة للقيمة $h\nu$ بمعنى أن المضاعفات المسموحة هي $2h\nu$ و $3h\nu$ و $4h\nu$ وهكذا ولكن القيمة $1.67h\nu$ أو القيمة $4.98h\nu$ غير مسموحتان. ورغم نجاح هذا التفسير إلا أن بلانك لم يكن قادرا على إعطاء السبب الذي يجعل الطاقة تبعث على الشكل المكمى هذا. ولكن هذه النظرية لاقت نجاحا كبيرا في تفسير النتائج التجريبية حيث استخدم العالم أينشتين هذه النظرية لحل مشكلة أخرى كانت تواجه علماء الفيزياء في تلك الأيام، وهي الظاهرة الكهروضوئية التي هي خروج الإلكترونات من سطح الفلزات حين تتعرض لضوء ذو تردد معين، وفسر إينشتين هذه الظاهرة على أساس أن الشعاع الضوئي مكون من سيل من الجسيمات أطلق عليها اسم الفوتونات photons وعلى ضوء نظرية بلانك أعطى اينشتين لكل فوتون طاقة تعطى بمعادلة بلانك

$$E = h\nu$$

حيث ν هي تردد الضوء.

نظرية بور لذرة الهيدروجين

Bohr's Theory of the Hydrogen Atom

بعد نجاح تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية انفتح الطريق أمام حل معضلة أخرى من أهم المعضلات التي واجهت الفيزيائيين في القرن التاسع عشر وهي ظاهرة طيف الانبعاث الذري.

طيف الانبعاث Emission Spectra

كان نيوتن هو أول من أوضح أن ضوء الشمس يتكون من عدة ألوان حين تتحد هذه الألوان مع بعضها يتكون الضوء الأبيض. ومن هذه المشاهدة نشأت دراسة خصائص طيف الانبعاث، وهو عبارة عن طيف خطي أو مستمر ينبعث عن الجسيمات حين تتفاعل مع الضوء. ينطلق طيف الانبعاث من أي مادة حين يتم إثارتها بطاقة ذات قدر مناسب (مثل تفريغ كهربي عالي الجهد). ومن أمثلة هذه الظاهرة الإحمرار أو اللون الأبيض الذي ينتج عن تسخين قضيب من الحديد. تمثل هذه الألوان جزء من الإشعاعات التي تصدر عن فلز الحديد وهي الجزء الذي يمكن أن تستشعره العين البشرية

وهناك بالمقابل أجزاء لا تستشعرها العين وهي التي تقع في المدى تحت الأحمر infrared region. ومن أهم خواص هذا النوع من الانبعاث أنه مستمر continuous مثل الطيف الشمسي بمعنى أن الطيف يتمثل بجميع الأطوال الموجية بشكل متصل بدون انقطاع.

أما طيف الانبعاث الخاص بالذرات في حالتها الغازية فهو ليس متصلا ولكنه يظهر على هيئة خطوط مضيئة في أجزاء مختلفة من المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي. يمثل هذا الطيف الخطي انبعاثا ضوئيا عند أطوال موجية محددة.

يتميز كل عنصر بطيف الانبعاث الخاص به والمميز له. والخطوط المميزة في الطيف الذري يمكن أن تستخدم كتحليل نوعي للتعرف على أي فلز مجهول بشكل يشبه استخدام بصمات الأصبع للتعرف على الأشخاص. وعندما تتفق الخطوط المكونة لطيف انبعاث عنصر مجهول مع تلك الخاصة بعنصر معلوم فإن هذا يعني أنهما نفس العنصر.

طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين

في العام 1913 استطاع العالم الدنماركي نيلز بور Niels Bohr أن يقدم تفسيرا للخطوط الظاهرة في طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين. ورغم أهمية هذا التفسير والفرضيات والاستنتاجات التي قدمها فيما يتعلق بتركب ذرة الهيدروجين في ذلك الوقت إلا أن النظرية اليوم تعتبر غير مقبولة في الكثير من جوانبها وتكمن أهميتها الحالية في التفسير الذي قدمه لطبيعة الخطوط الطيفية.

كانت النظرة إلى التركيب الذري في ذلك الوقت تتضمن وجود إلكترونات تدور بسرعة هائلة في مسارات دائرية حول النواة المحتوية على البروتونات بشكل يشبه حركة الكواكب السيارة حول الشمس. وفي هذا الطرح تعمل قوى الجذب الكهروستاتيكية على جذب الإلكترون نحو النواة المخالفة له في الشحنة بينما تعمل قوة الطرد المركزية الناتجة من دوران الإلكترون حول النواة على أبعاد الإلكترون عن أن يسقط في النواة وأن هاتين القوتين متعادلتين بشكل يضمن حفظ الإلكترون مستقرا في مداره الدائري حول النواة.

وفي تصور بور للتركيب الذري افترض أن الإلكترون يجب أن يوجد في أماكن محددة من مساره الدائري. وذلك لأن كل مدار يحمل طاقة خاصة محددة له وأن هذه الطاقة يجب أن تكون محددة ومكماة (حسب نظرية بلانك).

وبحسب نظرية بور يحدث الانبعاث الضوئي حين ينزل الإلكترون من مدار عالي الطاقة إلى مدار أقل طاقة ليبعث كمة من الطاقة quantum of energy أو فوتون ضوئي photon of light.

وباستخدام عدد من المعالجات الرياضية المبنية على أساس التفاعلات الكهروستاتيكية وقوانين نيوتن للحركة وضع المعادلة الرياضية الآتية لحساب طاقة الإلكترون في ذرة الهيدروجين

$$E_n = -R_H\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

حيث RH هي ثابت رايدبرج Rydberg constant الذي له القيمة 18-10 × 2.18 Joule، أما n فهي تمثل أعداد صحيحة تسمى عدد الكم الرئيس principle quantum number الذي يأخذ القيم من1، 2 ، 3 ، ..

وتدل الإشارة السالبة في المعادلة على أن طاقة الإلكترون في الذرة يجب أن تكون أقل من طاقة الإلكترون الحر البعيد بشكل لانهائي عن النواة. وقد اصطلح على إعطاء الإلكترون الحر طاقة بقيمة صفرية وهذه التي تقابل رياضيا عدد كم رئيس بقيمة لانهاية ∞ في المعادلة أي عندما

$E\infty = 0$

وكلما ازداد اقتراب الإلكترون من النواة وذلك بنقصان قيمة n كلما زادت القيمة المطلقة للقيمة En أي زادت قيمتها السالبة. وبذلك فإن أعلى قيمة سالبة هي عندما n = 1 وهي حالة الطاقة الأكثر استقرارا وهي التي تسمى الحالة الأرضية ground state أو المستوى الأرضي ground level، وهي الحالة الأقل طاقة في النظام (الذي هو الذرة في هذه المناقشة). وتقل طاقة الإلكترونات كلما زادت قيمة n التي عندما تأخذ القيم 2، 3، ... تظهر الحالات التي يطلق عليها اسم الحالات المثارة excited states أو المستويات المثارة excited levels وهي التي طاقتها أكبر من طاقة الحالة أو المستوى الأرضي. وبحسب نظرية بور يعتمد نصف قطر كل مدار دائري على قيمة n2 حيث أن القيمة المربعة تعني أن نصف القطر يزداد بشكل كبير، وكلما ازداد ابتعاد الإلكترون عن النواة كلما قل ارتباطه بها.

تمكن بور في نظريته أن يعطي تفسيرا للخطوط الظاهرة في طيف الهيدروجين، حيث تتسبب الطاقة الإشعاعية الممتصة بواسطة الذرة في تحرك الإلكترون من مستوى طاقة اقل (قيمة n له صغيرة) إلى مستوى طاقة أعلى (قيمة n له كبيرة) وبعد ذلك يتم انبعاث الطاقة الإشعاعية (في صورة فوتونات) حين يعود الإلكترون مرة أخرى إلى المستوى الأرضي. تشبه حركة الإلكترون من مستوى إلى آخر حركة كرة التنس على درجات السلالم صعودا أو هبوطا.

حيث أن الكرة تنتقل من درجة إلى أخرى ولكنها لن تكون أبدا في المناطق بين الدرجات. وتعتبر النقلة إلى الدرجة الأعلى عملية متطلبة للطاقة والعكس. والطاقة اللازمة لكل انتقال يعتمد على المسافة بين المرحلة الابتدائية والنهائية. وبالمثل تعتمد الطاقة اللازمة لتحريك الإلكترون بين المدارات في ذرة بور على الفرق في الطاقة بين الحالتين البدائية والنهائية.

ولتطبيق المعادلة على عملية الانبعاث في ذرة الهيدروجين فإننا يجب أن نفترض أولا أن الإلكترون في الحالة المثارة ni وعندما ينزل الإلكترون إلى المستوى الأقل طاقة nf الذي يمكن أن يكون هو المستوى الأرضي أو مستوى مثار ولكنه أقل طاقة من المستوى ni. والفرق في الطاقة بين هذين المستويين يعطى بالمعادلة

$$\Delta E = E_f - E_i$$

ولأن هذا الانتقال ينتج عنه انبعاث للفوتونات التي لها التردد **ν** وبالتالي فإن طاقتها h**ν** نستطيع أن نكتب

$$\Delta E = h\nu = R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

وعندما ينبعث الفوتون فإن $ni>nf$. وعليه فإنه عندما تكون القيمة داخل الأقواس سالبة فإن هذا سيؤدي إلى قيمة طاقة سالبة أي أن الطاقة تنطلق من النظام. أما عندما يتم امتصاص الطاقة أي أن $ni<nf$ يصبح الحد داخل الأقواس موجبا. يقابل كل خط طيفي في طيف الانبعاث انتقال مقابل في مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين. ويعتمد مدى وضوح الخطوط الطيفية على عدد الفوتونات التي تنبعث عند نفس الطول الموجي.

يتضمن طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين مجموعات من الخطوط تقع في مناطق مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي تتراوح ما بين منطقة فوق البنفسجي (متسلسلة ليمان Lyman serie) إلى المنطقة المرئية (متسلسلة بالمر Balmar serie) والمنطقة تحت الحمراء (متسلسلة باشن Bachen وبراكت Brakett وفوند Pfound) والجدول 1. 7 يوضح هذه المتسلسلات وقيمة ni الخاصة بكل متسلسلة وقيم nf التي يمكن أن تصل إليها. تمثل الأسماء ليمان وبالمر وبراكت وباشن وفوند أسماء العلماء اللذين قاموا بدراستها. وقد كان بالمر هو أول من قام بالدراسة حيث أن أربعة خطوط من السلسلة الخاصة به هي التي تقع في المنطقة المرئية مما جعل دراستها سهلا.

ميكانيكا الكم

لم يستطع بور في نظريته أن يعطي تفسيرات أطياف الانبعاث للعناصر التي تمتلك أكثر من إلكترون مثل الهيليوم والليثيوم كم أنه لم يكن قادرا على تفسير السبب في ظهور خط طيفي جديد في طيف الهيدروجين حين تتعرض لمجال مغناطيسي خارجي.

وقد كان العالم هايسنبرج هو من حل مشكلة تحديد مكان الجسيم الذي يتحرك حركة موجية حين قدم صياغة لمبدأ عدم التأكدuncertainty principle والتي تنص على أنه "من المستحيل أن نحدد بدقة تامة عزم ومكان وجود الإلكترون في نفس الوقت".

والصياغة الرياضية لها المبدأ

$$\Delta x \Delta p = (\Delta x) \times m(\Delta u) \geq \frac{h}{4\pi}$$

حيث أن p= mu، تمثل p العزم الذي هو حاصل ضرب كتلة الإلكترون m في سرعته u،

Δp الخطأ في تحديد قيمة العزم.

h ثابت بلانك

Δx الخطأ في تحديد موضع وجود الإلكترون.

تعني المعادلة أنه إذا استطعنا قياس عزم الجسيم بدقة (أي أصبحت قيمة Δp صغيرة جدا) فإن معرفتنا بمكان وجود الإلكترون تصبح أقل دقة (أي يصبح Δx قيمة أكبر)، والعكس بالعكس.

ويمكن تمثيل الوضع بالمثال التشبيهي الآتي أننا إذا أردنا أن نلتقط صورة فوتوغرافية لسيارة تتحرك بسرعة كبيرة فإن أمامنا أحد طريقين الأول لأن نضبط غالق الكاميرا على سرعة بطيئة وبذلك نحصل على صورة مشوشة للسيارة ولكنها كافية لتعطي الانطباع بسرعة حركتها، والطريقة الأخرى أن نضبط غالق الكاميرا على سرعة كبيرة وفي هذه الحالة سنحصل على صورة واضحة المعالم للسيارة ولكن ليس فيها أي أثر للحركة. وهكذا بتطبيق هذه الفكرة على حالة الإلكترون نجد أن الإلكترون ليس كما تصور بور أنه يلف في مدار دائري محدد الملامح وإلا لكان من الممكن أن نحدد بدقة كبيرة مكان وجوده أي موضعه (من مواصفات المدار الذي يشغله) وعزمه (من قيمة طاقة حركته) ولكن هذا مستحيل حسب مبدأ عدم التأكد.

ورغم أن فكرة الطاقة المكماة لحركة الإلكترون في الذرة كانت فكرة ناجحة إلا أن نظرية بور لم تكن قادرة على إعطاء وصف كاف لسلوك الإلكترون في الذرة. وفي العام 1926 م قدم العالم النمساوي أيرون شرودنجر معادلة تفاضلية لوصف حركة الإلكترون في الذرة بناءا على معالجة رياضية معقدة آخذا في الاعتبار قوانين نيوتن للحركة والمعادلات الموجية وفرضية دي بروجلي للطبيعة الموجية للإلكترون مع الاحتفاظ بحد الذي بعبر عن الطبيعة الجسيمية للإلكترون وهو قيمة كتلته m. عن الخاصية الموجية في معادلة شرودنجر بالدالة بساي Ψ التي تعبر عن موضع الإلكترون في الذرة.

ليس للدالة ψ أي معنى فيزيائي مباشر ولكن مربعها ψ2 يدل على احتمالية وجود الإلكترون في حيز معين من الفضاء المحيط بالنواة. وقد جاء هذا الفرض من النظرية الموجية التي تربط قيمة ψ2 التي هي عبارة عن مربع سعة الموجة بتناسب طردي مع كثافة الضوء. حيث أن أكثر الأماكن احتمالية لوجود الفوتون هي حين تكون الكثافة الإلكترونية أكبر ما يمكن. وبالمثل تمثل قيمة ψ2 احتمالية وجود الإلكترون في المنطقة المحيطة بالنواة.

وقد كانت معادلة شرودنجر بداية لعصر جديد في الفيزياء والكيمياء وبدأ معه علم جديد يسمى علم ميكانيكا الكم أو الميكانيكا الموجية التي أساسها النظري هو نظرية الكم quantum theory.

استخدام الميكانيكا الكمية لوصف ذرة الهيدروجين

تحدد معادلة شرودنجر مستويات الطاقة الممكن أن يشغلها الإلكترون في ذرة الهيدروجين ومنها يعرف الدالة الموجية ψ2 المقابلة لكل مستوى. وتتميز مستويات الطاقة هذه بمجموعة من أعداد الكم التي منها يمكننا أن نضع نموذجا وافيا لتركيب ذرة الهيدروجين.

وعلى الرغم من أن معالجات الميكانيكا الموجية لا تمكننا من أن نحدد مكان ذرة الهيدروجين بالضبط إلا انها تحدد لنا المنطقة التي يحتمل وجود الإلكترون بها عند زمن معين. ومن هنا يظهر مفهوم السحابة الإلكترونية electron density الذي يعني احتمالية وجود الإلكترون عند منطقة معينة من الذرة. حيث تحدد مربع الدالة $\psi 2$توزيع السحابة الإلكترونية في الفضاء ثلاثي الأبعاد المحيط بالنواة. وتمثل المناطق ذات السحابة الإلكترونية عالية الكثافة المناطق الأكثر احتمالا لوجود الإلكترون والمناطق ذات الكثافة الإلكترونية المنخفضة تمثل المناطق الأقل احتمالا لوجود الإلكترون.

وللتفرقة بين مفاهيم الميكانيكا الكمية ووصف بور للذرة فمن المتعارف عليه استخدام مصطلح فلك ذري atomic orbital للدلالة على دالة الإلكترون الموجية في الذرة بدلا من مصطلح مدار orbit الذي وضعه بور لوصف المدارات ثنائية الأبعاد في نظريته. وعندما نتحدث عن إلكترون في فلك محدد فإننا نعني بالقول توزيع الكثافة الإلكترونية أو احتمالية وجود الإلكترون في الفضاء الذي تحدده مربع الدالة الموجية $\psi 2$في الذرة. وبذلك يكون للفلك الذري طاقة محددة وتوزيع محدد للسحابة الإلكترونية الخاصة به.

وقد نجحت معادلة شرودنجر في إعطاء وصف دقيق لحركة الإلكترون في ذرة الهيدروجين المحتوية على إلكترون وبروتون أما الذرات المحتوية على أكثر من إلكترون فإن الحلول الدقيقة غير ممكنة ولكننا نلجأ لطرق تقريبية لمحاولة الحل وهذه الطرق تعطي نتائج مرضية إلى حد كبير.

أعداد الكم Quantum Numbers

حسب معطيات ميكانيكا الكم يلزمنا ثلاث أعداد كمية لوصف الإلكترون الوحيد الموجود في ذرة الهيدروجين تنتج هذه الأعداد الكمية من حل معادلة شرودنجر رياضيا. تتضمن هذه الأعداد:

عدد الكم الرئيس principle quantum number

عدد الكم الثانوي أو عدد كم العزم الزاوي angular momentum quantum number

عدد الكم المغناطيسي magnetic quantum number

تستخدم أعدد الكم هذه في وصف الإلكترون والفلك الذي يشغله. أما عدد الكم الرابع فهو يصف حركة الإلكترون تحت ظرف محدد وهو مهم لإعطاء الوصف الكامل للإلكترون.

عدد الكم الرئيس n

يعطى بقيم صحيحة تأخذ قيم تتراوح ما بين 1 إلى 7 وهي نفس أعداد الكم التي اقترحها بور في المعادلة 7 . 5 وهي في ذرة الهيدروجين تمثل البعد عن النواة وطاقة الفلك الذي يشغله (هذا لا ينطبق تماما على الذرات الأخرى غير ذرة الهيدروجين) فمن المعروف أنه كلما زادت قيمة n كلما زاد بعد الإلكترون عن النواة وكلما زادت طاقته وصار يشغل فلكا أكبر حجما.

عدد كم العزم الزاوي (angular momentum quantum number(l

يحدد عدد كم العزم الزاوي l شكل الفلك الذي يتخذه الإلكترون في دورانه حول النواة. وتعتمد القيم التي يتخذها على قيمة عدد الكم الرئيس n، ففي حالة قيمة معينة من n يتخد عدد كم العزم الزاوي القيم من الصحيحة من صفر حتى أعلى قيمة له التي يجب أن لا تتجاوز n-1 . فإذا كان عدد الكم الرئيس n=1 فإن قيم l هي 0 فقط وإذا كانت 2 = nفإن قيم l هي 0 و 1 وإذا كانت قيمة 3 = n فإن l يأخذ القيم 0 و 1 و 2 وهكذا. ولكل قيمة من l يوجد حرف مقابل يمثل الرمز الطيفي الخاص بشكل الفلك حسب الجدول الآتي

L	0	1	2	3	4	5
Name of orbital	s	p	d	F	g	H

لاحظي أنها تمثل بالأحرف الصغيرة small letters، وهذا يعني عندما $l = 0$ فإن الفلك هوs وعندما$l = 1$ فإن الفلك هو p (وليس P بالحرف الكبير). تمثل هذه الرموز شكل الخطوط الطيفية لطيف الانبعاث كما تم رصدها من العلماء اللذين قاموا بدراسة طيف الهيدروجين. حيث

s = sharp	تعني حاد
p = principle	تعني رئيسي
d = diffuse	تعني مشوش
f = fundemental	تعني أساسي

أما الرموز التالية لهذه الأربعة فهي تتبع الترتيب الأبجدي... .g, h, i, j, k, وعندما يكون لدينا عدد من الأفلاك التي لها نفس عدد الكم الرئيس فإنه يقال أنها تمثل غلافا رئيسيا shell. أما الأفلاك الممثلة بالقيم المختلفة من افهي تمثل أغلفة فرعية subshells. فعلى سبيل المثال الغلاف الرئيس $n = 2$ يمتلك غلافان فرعيان هما 2s و2p.

وتوضح أيضا قيمة عدد الكم هذا عدد المستويات العقدية التي تظهر في السحابة الإلكترونية الممثلة لحركة الإلكترون حول النواة ففي حالة ما يتخذ القيمة 0 فإن الفلك يظهر بدون مستويات عقدية ويكون له الشكل الكروي وهذه حالة الفلك s. أما حين يتخذ القيمة 1 فإن هذا يعني أن الفلك يمتلك مستوى عقدي واحد وتمثل السحابة الإلكترونية على شكل فصين يفصل بينهما منطقة تبلغ قيمة الكثافة الإلكترونية فيها صفر أي أنها منطقة قيمة احتمال وجود الإلكترون فيها صفر وهذه هي المستوى العقدي nodel plane وهي حالة الفلك p. أما في الفلك d حيث 2 = l لأنه يحتوي على مستويين عقديين وبذلك تمثل السحابة الإلكترونية على هيئة أربعة فصوص. وثمانية فصوص في الفلك f الذي قيمة 3 = l وله ثلاث مستويات عقدية.

عدد الكم المغناطيسي The magnetic quantum number ml

يمثل عدد الكم هذا اتجاه الفلك في الفضاء في الغلاف الفرعي وتعتمد قيمته على قيمة lفهو يأخذ قيمه الصحيحة السالبة والموجبة مرورا بالصفر. ولكل قيمة lهناك عدد من القيم لعدد الكم المغناطيسي تساوي 1 + 2l بمعنى إذا كانت 0 = l أي حالة الفلك s فإن لدينا عدد 0 من قيم ml . وإذا كانت1 = l أي حالة الفلك p فإن لدينا عدد 2(1) 3 = 1+ من قيم ml. . وإذا كانت2 = l أي حالة الفلك d فإن لدينا عدد 2(2) +1 = 5 من قيم ml. والجدول 7- 2 يوضح القيم المقابلة من ml لكل قيمة l.

عدد الكم المغزلي The spin quantum number ms

أظهرت التجارب على طيف الانبعاث لكل من الهيدروجين والصوديوم أنه وجود تأثير لمجال مغناطيسي خارجي يؤدي إلى انشطار كل خط طيفي من الطيف الظاهر لهما. وكان التفسير الوحيد المقبول لهذه الظاهرة هو أن كل إلكترون يتصرف كأنه مغناطيس صغير وهذا لا يحدث إلا لو كان الإلكترون يغزل حول محوره كما تدور الأرض حول محورها. فعلى حسب النظرية الكهرومغناطيسية تتولد المجالات المغناطيسية من حركة الغزل للشحنات أو الجسيمات المشحونة ويوضح الشكل 7 . 16 الاحتمالين الممكنين لحركة الغزل للإلكترون الأولى حين يكون الدوران مع عقارب الساعة clockwise والثانية ضد عقارب الساعة counterclockwise ومن هنا يحتم علينا إدخال عدد كم جديد رابع لوصف هذه الحركة المغزلية وهو العدد ms الذي يمكن أن يأخذ القيم ½+ أو ½–.

وقد جاء الدليل القاطع على وجود حركة مغزلية للإلكترون على يد العالمين اوتو سترن ووالتر جيرلوش في العام 1924م بالتجربة الموضحة في الشكل 7 -17 حيث يسري شعاع من الذرات الغازية المسخنة المتولدة في فرن لتمر عبر مجال مغناطيسي غير متجانس هنا ظهر أن التفاعل بين الإلكترونات والمجال المغناطيسي قد أدى إلى انحراف الذرات عن مسارها المستقيم

وحيث أن الحركة المغزلية حركة عشوائية فقد حدث أن انحرف نصف الذرات إلى اتجاه وانحرف النصف الثاني إلى الاتجاه الثاني.ض الأفلاك الذرية

أفلاك-ss orbitals من أهم ما يطرح من أسئلة في هذا المقام هو الآتي : ما هو شكل الفلك الذي يتخذه الإلكترون؟ والإجابة أن الفلك ليس له شكل محدد لأن الدالة الموجية المحددة للفلك تمدد من النواة وحتى اللانهاية مما يجعل وصف شكل الفلك صعبا. وبالمقابل فإنه من المفيد التفكير في أن الأفلاك لها أشكال محددة خاصة عندما نريد أن نصف كيفية حدوث الترابط الكيميائي.

ولحل هذا التناقض فإننا نقول أنه من الصحيح أن الإلكترون يمكن أن يوجد في أي مكان في الذرة وبالقرب من النواة إلا أن كثافة السحابة الإلكترونية المتخلفة من حركته تختلف من منطقة لأخرى (وهذه في حالة الفلك 1s) تتمدد من داخل الذرة إلى خارجها بمعنى أنها تكون كثيفة جدا بالقرب من النواة ثم تقل كثافتها بشكل متجانس كلما ابتعدت إلى اللانهاية التي عندها تصبح الكثافة صفرا. وبالتقريب يمكننا أن نقول أن الإلكترون يقضي 90% من وقته بالقرب من النواة في محيط كروي له نصف قطر يبلغ 100 بيكومتر. وبذلك يصبح التمثيل برسم دائري أو كروي يعني أن هذه هي الحدود السطحية التي تغلف المنطقة التي تمثل 90% من السحابة الإلكترونية الكلية الناتجة عن حركة الإلكترون في الفلك 1s.

الحدود السطحية لأفلاك 1s و 2s و 3s لذرة الهيدروجين وجميعها عبارة عن أفلاك كُروية الشكل spherical shapes ولكنها تختلف في أحجامها حيث يزداد الحجم بزيادة عدد الكم الرئيس. ومن الملاحظ أن هذا النوع من التمثيل يفتقد إلى تفاصيل توزيع الكثافة الإلكترونية ولكنه في ذات الوقت مفيد لتخيل كيفية شكل الفلك وكذلك حجمه النسبي مقارنة بغيره في الذرة.

أفلاك pp orbitals يبدأ ظهور أفلاك p في الغلاف الثاني أي أن أول غلاف فرعي من p له العدد الكمي الرئيس $n = 2$ أي أنه 2p. وفي هذه الحالة عدد الكم المغناطيسي يأخذ ثلاث قيم هي $-1, 0, +1$ مما يعني أن الفلك p يمكن أن يأخذ ثلاث توجهات فراغية على المحاور الكارتيزية أي أنه ينقسم إلى ثلاث أفلاك وهي التي تسمى px, py, pz تعني الرموز الصغيرة الموجودة مع كل حرف من p الاتجاه الذي يتخذه الفلك في الفراغ أو المحور الكارتيزي الذي توجد حوله السحابة الإلكترونية الخاصة بالفلك. هذه الأفلاك الثلاثة متماثلة تماما في الشكل والحجم وهذا يعني أن الإلكترون الذي يشغلها له نفس القدر من الطاقة.

وكما وضحنا سابقا أن الاختلاف بين الأفلاك 1s و 2s و 3s ... يكون فقط في الحجم وفإن الحال بالمثل بين الأفلاك 2p و 3p و 4p ... تختلف فقط في أحجامها التي تزيد بزيادة قيمة عدد الكم الرئيس الذي يعني زيادة الطاقة أي أنه كلما كبر حجم الفلك كلما زادت طاقة الإلكترون الذي يشغله.

أفلاك d والأفلاك الأعلى طاقة d orbitals and other higher energy orbitals.

عندما تتخذ l القيمة 2 هذا يكون ابتدأ من الغلاف الرئيس الثالث أي الفلك 3d الذي له خمس قيم من عدد الكم المغناطيسي هي 2− ,1- ,0 ,1+ ,2+ . وكما في حالة أفلاك p فإن الاختلافات في أفلاك d يكون فقط في اتجاه الفلك ولكن الإلكترونات فيها لها نفس القدر من الطاقة. واختلاف أفلاك 3d و 4d و 5d ... عن بعضها يكون فقط في الحجم وليس في الشكل.

تظهر أهمية أفلاك f عند دراسة عناصر الكتلة f من الجدول الدوري التي هي الفلزات المعروفة باسم اللانثنيدات والأكتنيدات مثل فلزي الثوريوم 90Th و اليورانيوم 92U وهذه الأفلاك السبعة لها أشكال معقدة نوعا ما وهي في الوقت الحالي خارجة عن إطار دراستنا.

طاقات الأفلاك:

الآن وبعد أن حددنا الفروقات بين الأفلاك المختلفة في حجومها وأشكالها أصبح من المهم أن نحدد مقادير طاقاتها النسبية لمعرفة كيفية تأثر ترتيب الإلكترونات في الذرة بمستويات الطاقة المتاحة. فإن طاقة الإلكترون في ذرة الهيدروجين تتأثر بشكل حصري بقيمة عدد الكم الرئيس n وبالتالي فإن طاقة الأفلاك في ذرة الهيدروجين تزيد حسب الترتيب الآتي:

$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \ldots$

ومن هذا يتضح أنه رغم أن شكل السحابة الإلكترونية تختلف في حالتي الفلك 2s عن الفلك 2p إلا أن الإلكترون في كلاهما له نفس القدر من الطاقة. وأن الفلك 1s يمثل أكثر أقل طاقة ممكنة للإلكترون أي أنه الحالة الأكثر استقرارا أي الحالة الأرضية ground state. والإلكترون الموجود في هذا الفلك هو الأكثر ارتباطا بالنواة فهو الأقرب لها، أما حين يوجد الإلكترون في المستويات الأعلى طاقة فإنه طاقته تزيد وتصبح الذرة في الحالة المثارة.

أما بالنسبة للذرات الأكبر من الهيدروجين فإن صورة مستويات الطاقة المتاحة للإلكترونات تصبح أكثر تعقيدا ويدخل عامل الحركة الزاوية المتمثلة في عدد كم العزم الزاوي ليحدد طاقة إلى جانب اعتمادها على قيمة عدد الكم الرئيس، ويحدد الطاقات المختلفة للمستويات الفرعية والرئيسية في ذرة متعددة الإلكترونات ومنها يتضح أن الفلك 3d له طاقة متقاربة جدا مع طاقة الفلك 4s. وتعتمد قيمة الطاقة الكلية للذرة ليس فقط على مجموع طاقات الأفلاك المشغولة ولكن أيضا على قيم طاقات التنافر بين الإلكترونات التي تشغل هذه الأفلاك مع التذكير بأن طاقة استيعاب كل فلك من أفلاك المستويات الفرعية يبلغ إلكترونين فقط،

وهذا ما يجعل في هذه الحالة من المحبذ أن يتم ملأ الفلك 4s أولا بإلكترونين لأنهما أقصى استيعاب له ومن ثم يتم ملأ الأفلاك الخمسة للمستوى 3d. ويتضح الترتيب الذي تملأ به الأفلاك الخمسة حسب تزايدها في الطاقة وهذا هو ما يعرف بمبدأ البناء الصاعد Aufbau principle.

التركيب الإلكتروني:

تسمح معرفة الأعداد الكمية الأربعة لأي إلكترون بأن نستطيع تحديد هذا الإلكترون بدقة في فلك محدد في الذرة بمعنى أن هذه الأعداد الكمية تمثل ما يشبه العنوان الدقيق للإلكترون. فعلى سبيل المثال الأعداد الكمية الأربعة لأحد إلكترونات الفلك 2s هي الآتي:

n = 2, l =0, ml = 0 and ms = +½ or −½

وهذه الأعداد عادة ما يشار إليها بطريقة مبسطة كالتالي (2, 0, 0, −½) أو (2, 0, 0, +½) حيث الأرقام من اليسار إلى اليمين تمثل الأعداد الكمية الأربعة n و l و ml و ms على التوالي. ومن الواضح أن قيمة عدد الكم المغزلي ms لا تؤثر على شكل ولا حجم الفلك مما يعني أنها لا تؤثر على طاقته.

تعتبر ذرة الهيدروجين أبسط ذرة معروفة وتركيبها الإلكتروني يتضمن وجود الإلكترون الوحيد في الفلك 1s عندما تكون الذرة في حالتها المستقرة أو يكون في أحد الأفلاك الأعلى طاقة عندما تكون الذرة في حالتها المثارة. أما بالنسبة للذرات الأكبر من الهيدروجين فإن تحديد تركيبها الإلكتروني هو أمر على جانب كبير من الأهمية وهو طريقة لوصف كيفية توزيع الإلكترونات في الأفلك الذرية المختلفة الأمر الذي يعطي تأثيرا مباشرا على كيفية سلوكها الكيميائي.

قاعدة باولي للاستبعاد Pauli Exclusion Principle

تطبق هذه القاعدة للذرات المحتوية على أكثر من إلكترون وتنص على أنه من المستحيل أن يتفق إلكترونين في نفس الذرة في أعدادهم الكمية الأربعة فإذا اتفق الإلكترونات في الأعداد الكمية الثالثة الأولى فمن الواجب أن يكون لكل منهما عزل مختلف عن الآخر. وبعبارة أخرى أن كل فلك يجب أن يشغل فقط بإلكترونين على شرط أن يكونا متعاكسين في الغزل.

الخاصية البارا مغناطيسية والخاصية الديا مغناطيسية

تعتبر قاعدة باولي للاستبعاد من أهم أسس ميكانيكا الكم، وما يجعلها أهم من أن تعتبر مجرد نظرية أنها مدعومة بمشاهدة تجريبية قاطعة فلو كان الإلكترونين الموجودان في الفلك 1s لذرة الهيليوم متوازيين في الغزل لكان المجموع الكلي للعزم الناتج عن حركتيهما المغزلية مساويا لمجموع ما يساهم به كل إلكترون

حيث أنهما يعززان بعضهما بسبب غزلهما في نفس الاتجاه ولكن الحقيقة التجريبية تظهر أنهما ليسا كذلك مما يؤكد أنهما موجودان في الحالة المستقرة بشكل متعاكس في الغزل أي أن كلاهما يلغي العزم الناتج من حركة الآخر وبذلك تعتبر ذرة الهيليوم ذرة ديا مغناطيسية أي ذرة لا تحتوي على إلكترونات منفردة. أما ذرة الهيدروجين بالمقابل فهي ذرة بارا مغناطيسية لأنها تحتوي على إلكترون وحيد منفرد.

وبصفة عامة تعرف المواد البارا مغناطيسية paramagnetic substances بأنها المواد التي تنجذب إلى خطوط القوى الناشئة عن مجال مغناطيسي خارجي نتيجة لوجود إلكترونات منفردة في تركيبها الإلكتروني.

أما المواد الديا مغناطيسية diamagnetic substances فهي المواد التي تتنافر مع خطوط القوي الناشئة عن مجال مغناطيسي خارجي وهذا راجع لأن تركيبها الإلكتروني يحتوي فقط على إلكترونات مزدوجة.

ومن قياس الخواص المغناطيسية للعناصر نحصل على أكثر الدلائل التجريبية المباشرة على كيفية ترتب الإلكترونات في الأفلاك. وقد ساهمت التطورات الكبيرة التي طرأت على تقنيات أجهزة القياس في تمكين العلماء من تعيين التوزيع الإلكتروني وتحديد عدد الإلكترونات المنفردة لكل العناصر. وبصفة عامة يمكننا القول أن أي ذرة تحتوي على عدد ذري فردي هي ذرة ذات خواص بارا مغناطيسية راجعة لوجود إلكترون أو أكثر في صورة منفردة. ولكننا بالمقابل لا نستطيع أن نقول أن الذرات ذات العدد الذري الزوجي تكون دائما ديا مغناطيسية

فهي من الممكن أن يحتوي توزيعها على إلكترونين أو أكثر في صورة منفردة وهذا كما في حالة ذرة الأكسجين 8O ذات العدد الذري الزوجي ولكنها تحتوي كما دلت القياسات التجريبية على إلكترونين منفردين كما سيظهر في المناقشة اللاحقة.

تأثير الحجب في الذرات عديدة الإلكترونات

وجد عمليا أن الفلك 2p أعلى طاقة بقليل من الفلك 2s للذرات متعددة الإلكترونات، لذلك فإنه لعمل توزيع إلكتروني لذرة تحتوي على 3 إلكترونات التوزيع الأقل طاقة هو 1s2 2s1 وليس 1s2 2p1 وهذا يفسر بناءا على ما يعرف بتأثير الحجب للأفلاك القريبة من النواة. ويتضح توزيع دالة الاحتمال القطري للأفلاك 1s و 2s و 2p و يظهر أنه نظرا لكبر حجم كل من 2s و 2p مقارنة بالفلك 1s فإن الإلكترونات فيهما سوف تقضي وقتها بعيدا عن النواة بشكل أكبر من حالة الإلكترونات في الفلك 1s، والفلك 1s كروي الشكل وقريب من النواة مما يجعل ارتباط الإلكترونين اللذان يشغلانه أكبر ما يمكن الأمر الذي يؤدي إلى حجب تأثير النواة جزئيا عن الإلكترونات في الفلكين2s و2p الأبعد عن النواة يقلل التجاذب الإلكتروستاتيكي بين الإلكترونات فيهما وبين الشحنة الموجبة على النواة مقارنة بوضع إلكترونات الفلك 1s.

والأمر الذي يجعل الفلك 2s أقل طاقة من الفلك 2p رغم أنهما من نفس الغلاف الرئيس يرجع إلى طبيعة توزيع الكثافة الإلكترونية في كلاهما فكما يتضح من الشكل 7 . 27 أن حجم الفلك 2s أكبر من نظائره في 2p ولكن الكثافة الإلكترونية له بالقرب من النواة أكبر من الكثافة الإلكترونية لأفلاك 2p يتضح هذا من الجزء الصغير من دالة الاحتمال القطري للفلك 2s الأمر الذي يجعله فلكا أكبر اختراقا للجزء الداخلي من الذرة القريب من النواة وبذلك يصبح أقل حجبا بواسطة 1s مقارنة بالفلك 2p. وبصفة عامة فإن قدرة الفلك على الاختراق للمنطقة الداخلية من الذرة تقل كلما زدات قيمةl للأفلاك التي لها نفس عدد الكم الرئيس n بمعنى أن الترتيب سيكون كالآتي: $s > p > d > f> \ldots$

وحيث أن ثبات الإلكترون يتحدد بمدى ارتباطه بالنواة (أي قربه منها) فإن هذا سيؤدي إلى الإلكترونات في الفلك 2s أقل طاقة من إلكترونات الفلك 2p. أو بعبارة أخرى يتطلب نزع الإلكترونات من أفلاك 2p طاقة أقل من اللازمة لنزع إلكتروني الفلك 2s التي تعاني من تأثير حجبها عن النواة بواسطة الفلكين 1s و 2s الأقرب للنواة. وأخيرا يمكننا أن نقول أن الإلكترون الوحيد في ذرة الهيدروجين لا يعاني من أي تأثير حجب. راجعي الكتاب صفحة 296 لكيفية توزيع ذرات 4Be و 5B بطريقة الكتابة وطريقة المربعات.

قاعدة هوند Hund's Rule

التي تنص على أن أكثر الطرق ثباتا لعمل التوزيع إلكتروني للإلكترونات التي تحتل نفس الغلاف الفرعي هي أن تشغله بشكل متوازي الغزل أولا حتى تحقق أكبر عدد ممكن من الإلكترونات المنفردة ولاتبدأ في الإزدواج إلا حين لايصبح أمامها خيار آخر. ولأمثلة على تطبيق هذه القاعدة انظري الكتاب صفحة 296 لكيفية عمل التوزيع الإلكتروني لكل من ذرات 6C و 7N و 8O بطريقة المربعات. ومن هنا نجد لماذا يحتوي الأكسجين على إلكترونين منفردين كما دلت القياسات التجريبية للخواص المغناطيسية التي ذكرناها سابقا.

يوضح الكتاب أيضا في صفحة 297 التوزيع الإلكتروني أيضا لذرات الفلور 9F والنيون 10Ne. ومنه تظهر الخواص الديا مغناطيسي لذرة النيون التي أكدتها القياسات التجريبية.

القواعد العامة لتوزيع الإلكترونات والأفلاك الذرية

مما سبق يمكننا وضع القواعد التالية لكيفية عمل التوزيع الإلكتروني على مختلف الأغلفة الفرعية والأفلاك الذرية. هذه القواعد هي:

لكل غلاف رئيس قيمته n هناك عدد n أيضا من الأغلفة الفرعية أي للغلاف n =2 هناك غلافان فرعيانهما 2s و 2p.

كل غلاف فرعي له القيمة l يحتوي على عدد (2l+1) من الأفلاك مثلا الغلاف الفرعي p يحتوي على 3 أفلاك.

لا يمكن أن يوجد أكثر من إلكترونين في كل فلك ذري وبالتالي فإن أقصى عدد للإلكترونات في كل غلاف فرعي هي ضعف عدد أفلاكه.

يمكن تعيين العدد الأقصى من الإلكترونات في كل غلاف رئيس حسب العلاقة 2n2.

مبدأ البناء الصاعد

وهو ما يعرف بمبدأ أوف باو aufbau أي البناء باللغة الألمانية، والذي ينص على كما يتزايد العدد الذري للعناصر بزيادة عدد البروتونات في النواة فإن الإلكترونات أيضا يتزايد عددها تدريجيا بزيادة العدد الذري للعناصر وتضاف تدريجيا للأفلاك حسب تزايد طاقتها. وهذا هو المبدأ الأساسي الذي به يتم عمل التوزيع الإلكتروني للعناصر وهو العامل الأساسي المؤثر على الخواص الكيميائية واختلافها في العناصر المختلفة كما سنرى لاحقا.

وعند عمل التوزيع الإلكتروني لعنصر البوتاسيوم 19K فإن الدلالة تكون لعنصر الأرجون 18Ar الذي له التركيب الإلكتروني 3p6 3s2 [10Ne] ومنه يضاف الإلكترون التاسع عشر إلى الفلك 4s وليس 3d. ليصبح التوزيع الإلكتروني لعناصر البوتاسيوم 19K والكالسيوم 20Ca كالتالي:

19K : [Ar] 4s1

20Ca : [Ar] 4s2

هذه الطريقة في التوزيع الإلكتروني يدعمها حقيقة التشابه الكبير في الخواص الكيميائية بين فلز البوتاسيوم والصوديوم والليثيوم اللذان لهما تركيب إلكتروني في الغلاف الأخير مشابه لتركيب الغلاف الأخير للبوتاسيوم. وبالمثل يتشابه كل من التوزيع الإلكتروني للغلاف الأخير والخواص الكيميائية للكالسيوم مع المغنسيوم.

وابتدأ من العنصر الذي له العدد الذري 21 وهو السكانديوم Sc وحتى عنصر النحاس 29Cu تظهر العناصر الانتقالية التي يتم فيها الملىء التدريجي للفلك 3dوبذلك تعرف العناصر الانتقالية بأنها العناصر التي تحتوي على غلاف داخلي d غير مكتمل أو أن التركيب الإلكتروني لأكثر كاتيوناتها ثباتا تحتوي على غلاف d غير مكتمل. مرة أخرى يجب مراعاة تطبيق قواعد هوند عند عمل التوزيع الإلكتروني لعنصري الكروم 24Cr والنحاس 29Cu ، انظري الكتاب صفحة 299.

وبعد عنصر الزنك 30Zn تأتي 6 عناصر يتم فيها الملىء التدريجي للفلك 4p حتى نصل إلى نهاية الدورة الرابعة الممثلة بالغاز الخامل الكربيتون 36Kr وبعده يظهر في بداية الدورة الخامسة عنصر الروبيديوم 37Rb الذي له التركيب الإلكتروني 5s1 [Kr] المشابه لتركيب البوتاسيوم. ومن ثم السترونشيوم 38Sr الذي له التركيب الإلكتروني 4s2 [Kr] ثم تظهر العناصر الانتقالية مرة أخرى إذ أن العناصر ذات الأعداد الذرية من 39 وحتى 47 (الفضة Ag) تمثل أيضا الملىء التدريجي للفلك 4d مما يجعل التعريف السابق للعناصر الانتقالية ينطبق عليها. مع وجوب تطبيق قواعد هوند على عنصري المولبدنم 42Mo والفضة 47Ag. وبعد ذلك عنصر الكادميوم 48Cd ثم العنصر الستة التي يتم فيها الملىء التدريجي للفلك 5p والتي تنتهي بغاز الزينون 54Xe.

بعد عنصري السيزيوم 55Cs والباريوم 56Ba يظهر عنصر اللانثانم 57La الذي له التركيب الإلكتروني

[Xe] 6s2 5d1 وليس [Xe] 6s24f1

ولكن ابتدءا من عنصر السيريوم 58Ce يبدأ ملىء الفلك 4f لتظهر متسلسلة من 14 عنصر تلي عنصر اللانثانم حتي عنصر اللوتيتيوم 71Lu تعرف باسم عناصر اللانثنيدات نظرا لتشابهها الكيميائي مع عنصر اللانثانم وكذلك يطلق عليها اسم العناصر الأرضية النادرة.

وبعد هذه العناصر تعود العناصر الانتقالية مرة أخرى للظهور ابتدأ من عنصر الهافنيوم 72Hf حتى الذهب 79Au ثم عنصر الزئبق 80Hgثم ستة عناصر يتم فيها ملء الفلك 6p تدريجيا لتنهي الدورة السادسة بالغاز الخامل الرادون 86Rn.

تبدأ الدورة السابعة بعنصر الفرانسيوم 87Fr ثم عنصر الراديوم 88Ra ثم عنصر الأكتنيوم 89Ac الذي يتشابه تركيبه الإلكتروني مع اللانثانم وبعده عنصر الثوريوم 90Th الذي هو بداية متسلسلة الأكتنيدات وهي أيضا الأربعة عشر عنصرا التي تلي الأكتنيوم والتي تتشابه معه في الخواص الكيميائية والتي تنتهي بعنصر اللورنسيوم.

وأخيرا من الواجب التنويه على النقطتين التاليتين.

العناصر التي تلي عنصر اليورانيوم 92U ليس لها وجود في الطبيعة وهي عناصر صناعية حضرت في معامل أبحاث الدراسات النووية. وكذلك عنصري التكنيتيوم 43Tc والبروميثيوم 61Pm.

العناصر التي لها عدد ذري أكبر من 83 أي العناصر ما بعد البزموت 83Bi ليس لها أي نظير مستقر أي أنها جميعا عناصر مشعة حتى تلك التي تسبق اليورانيوم فهي عناصر موجودة في الطبيعة ولكنها مشعة.

الفصل الثالث عشر

محاضرات في الديناميكا الحرارية

تعريف علم الديناميكا الحرارية:

علم الديناميكا الحرارية هوعلم تجريبي يهتم بدراسة كل ما هو متعلق بدرجة الحرارة والطاقة الحرارية أو التدفق الحراري المصاحب لتغيرات الأنظمة الكيميائية أوالفيزيائية .

تطبيقات علم الديناميكا الحرارية :

التطبيقات الهندسية: يستخدم هذا العلم هندسيا في تصميم المحركات ومولدات الطاقة الكهربية وأجهزة التبريد والتكييف .

التطبيقات الكيميائية: هنالك عدة تطبيقات لعلم الديناميكا نذكر منها :

التغيرات في الطاقة التي ترافق التغير الكيميائي أوالفيزيائي وبصورة عامة التغير في الطاقة بين النظام وما يحيط به .

دراسة إمكانية حصول التفاعل الكيميائي تلقائيا.

اشتقاق الصيغ والقوانين المكتشفة تجريبيا وبناؤها على أساس نظري فمثلا :

يمكن اشتقاق واثبات قوانين التوازن الكيميائي.

يمكن اشتقاق قانون هس للمحتوى الحراري والذي يعتبر حالة خاصة للقانون الأول للديناميكا الحرارية .

يمكن اشتقاق معادلة كلابيرون - كلاوزيوس المتعلقة بالتوازن بين الأطوار .

يمكن اشتقاق معادلة قاعدة الطور أو الصنف.

المفاهيم الأساسية في الديناميكا الحرارية

تعريف النظام (System) : هو جزء من الكون الذي يحدث فيه التغير الكيميائي أو الفيزيائي أو هو الجزء المحدد من المادة التي توجه إليه الدراسة .

المحيط (Surroundings): هو الجزء الذي يحيط بالنظام ويتبادل معه الطاقة في شكل حرارة أوشغل ويمكن أن يكون حقيقي أو وهمي .

مثال: عند إضافة محلول حمض الهيدوكلوريك إلى محلول هيدوركسيد الصوديوم في كأس زجاجي فأن :

* النظام هو محلول الحمض والقاعدة

* حدود النظام هي جدران الكأس.

* المحيط هو باقي الكون حول النظام.

بناء على الطريقة التي يتبادل بها النظام الطاقة والمادة مع المحيط قسمت الأنظمة إلى ثلاث أنواع :

النظام المفتوح (Open System) وهو النظام الذي يسمح بتبادل كل من المادة والطاقة بين النظام والوسط المحيط .

النظام المغلق (Closed System) وهو الذي يسمح بتبادل الطاقة فقط بين النظام والوسط المحيط على صورة حرارة أو شغل .

النظام المعزول (Isolated System) وهوالذي لا يسمح بانتقال أي من الطاقة والمادة بين النظام والوسط المحيط

خواص النظام (Properties of a System)

يمكن تقسيم الخواص الطبيعية للنظام إلي مجموعتين :

خواص شاملة (Extensive Properties) وهي الخواص التي تعتمد على كمية المادة الموجودة في النظام مثل الكتلة ، الحجم، السعة الحرارية، الطاقة الداخلية ، الانتروبي ، الطاقة الحرة ومساحة السطح والقيمة الكلية بالنسبة لهذه الخواص تساوي مجموع القيم المنفصلة لها

خواص مركزة Intensive(Properties) وهي الخواص التيلا تعتمد على كمية المادة الموجودة في النظام مثل الضغط ، درجة الحرارة، الكثافة، التوتر السطحي،القوة الدافعة الكهربية والجهد الكهربي. كل هذه الخواص مميزة للمادة ولكن لا تعتمد على كميتها

.الاتزان الديناميكي الحراري Thermodynamic Equilibrium

يمكن تقسيمه إلى ثلاث أنواع :

الاتزان الميكانيكي (Mechanical Equilibrium) ويحدث هذا النوع من الاتزان عندما لا يحدث أي تغير ميكروسكوبي للنظام مع الزمن .

الاتزان الكيميائي (Chemical Equilibrium) ويحدث هذا النوع من الاتزان عندما لا يحدث تغير في تركيز المادة مع الزمن .

الاتزان الحراري (Thermal Equilibrium) ويحدث هذا النوع من الاتزان عندما تتساوى درجة حرارة النظام مع الوسط المحيط به ويتمثل هذا الاتزان في القانون الصفري للديناميكا الحرارية الذي ينص على أنه : إذا تواجد نظامان في حالة اتزان مع نظام ثالث فأن النظامين يكونان في حالة اتزان مع بعضيهما .

يحدث التغير في حالة النظام عند ظروف مختلفة ، نلخصها في الأتي :

العملية الأديباتيكية (Adiabatic Process) وهي التي لا يفقد النظام أو يكتسب خلالها طاقة حرارية من الوسط .

العملية الأيزوثيرمالية (Isothermal Process) هي العملية التي تحدث عند ثبات الحرارة (بناء على ذلك يحدث ثبات الطاقة الداخلية)

العملية الآيزوبارية (Isobaric Process) هي العملية التي تحدث عند ضغط ثابت .

العملية الآيزوكورية (Isochoric Process) هي العملية التي تحدث عند حجم ثابت .

العملية الدائرية (Cyclic Process) هي العملية التي يتحرك فيها النظام في شكل دائري ويرجع لموقعه الأول (أي لا تتغير طاقته الداخلية) .

الطاقة (Energy):

الطاقة (E) هي الشغل (w) المنجز أو المستهلك من قبل المادة.

ويمكن توضيح العلاقة بين الطاقة (E) والمادة ممثلة بكتلتها (m) كما يلي :

$E = w$

$= F \times d$

$= m \times a \times d$

$= m \times d \times (v / t)$

$= m \times v \times (d/t)$

$= m \times v \times v = m \times v2$

أي أن الطاقة تساوي حاصل ضرب كتلة المادة في مربع سرعة هذه المادة ، وهي تشابه معادلة آينشتاين Einstein التي حدد فيها أن طاقة الجسم الذي يتكون منه الضوء والمسمى بالفوتون (E) تساوي حاصل ضرب كتلته في مربع سرعته التي تساوي سرعة الضوءc

$E = m \times c2$

من الناحية الميكانيكية تقسم الطاقة لنوعان :

أ - الطاقة الحركية :(Kinetic Energy (K. E ومقدارها يعتمد على كتلة الجسم)

(m وعلى سرعته v

وتساوي :K E = 1/2 m v2

مثال : أحسب طاقة حركة جسم كتلته 60 kg وسرعته 20 km / h؟

الحل :

$$K . E = 1/2\ m\ v^2$$

$$= 1/2 \times 60 \times (20 \times 1000) / 60 \times 60 = 925.925\ J$$

ب - الطاقة الوضعية Potential E nergy(P . E) ومقدارها يعتمد على كتلة

الجسم(m) وعلى تسارعه(a)والمسافة التي يقطعها (d)

$$P . E = m \times a \times d$$

مثال : جسم يتحرك بتسارع يساوي (20 m / s2) وكتلته تساوي (300 kg)

أحسب طاقة وضعه إذا قطع مسافة قدرها (10 m) ؟

الحل :

$$P.E = m \times a \times d$$

$$= 300\ kg \times 20\ m/s^2 \times 10\ m$$

$$= 6000\ kg\ m^2 / s^2$$

$$= 6000\ J = 60\ kJ$$

كل صور الطاقة لها الوحدات $Mass \times (length)^2 / (Time)^2$

أي كتلة x (المسافة)2 / (الزمن)2 وعليه يمكن أن تكون الطاقة بوحدة الايرج Erg ( ) أو بوحدة الجول (Joule) أو السعر الحراري (Calory) .

وحدة الطاقة في النظام (cgs) وهو فرنسي الأصل ويعني (cm . gram . sec) هي :

الايرج : ويعرف بأنه مقدار الشغل المبذول عندما تعمل قوة مقدارها واحد داين لمسافة قدرها سم واحد .

الداين : هو القوة التي تعطي عجلة مقدارها $1.0\ cm / sec^2$ لجسم كتلته واحد جرام .

العلاقات بين الوحدات

Calory = 4.18 J

Joule = 107 erg

Atom.. L = 24.23 cal = 101.3 J

تعريفات:

السعة الحرارية (Heat Capacity) تعرف بأنها مقدار الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة جسم معين أو كمية معينة من المادة كتلتها (m) درجة مئوية واحدة .

وحدة السعة الحراريةجول / م (J / C^{o})

الحرارة النوعية (Specific Heat) تعرف بأنها السعة الحرارية لكل جرام واحد من المادة،أي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة مئوية واحدة .

وحدة الحرارة النوعية جول / جم م ($J / g\ C^{o}$)

السعة الحرارية المولارية (Molar Heat Capacity) هي كمية الطاقةاللازمة لرفع درجة حرارة مول واحد من المادة درجة مئوية . ووحدتها جول / مول م ($J / mol\ C^{o}$)

بالنسبة للماء : السعة الحرارية المولارية هي السعة الحرارية لعدد 18 جرام من الماء وتساوي $18 \times 4.18 = 75.3 J / mol$

استخدامات السعة الحرارية

بالاعتماد على السعة الحرارية يمكن حساب كمية الحرارة (q) اللازمة لرفع درجة حرارة نظام كتلته ثابتة من درجة حرارة ابتدائية (T1) إلى درجة حرارة نهائية (T2) :)

$$q = C (T2 - T1)$$

$$q = C \Delta T$$

بما أن السعة الحرارية = الكتلة x الحرارة النوعية $C = m \times \rho$

حيث m = كتلة المادة ، ρ = الحرارة النوعية للمادة .

كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة تحسب من العلاقة :

$$q = C \Delta T = \rho \times m \times \Delta T$$

مثال (1) إذا علمت أن 18.5جرام من معدن معين ، امتصت كمية من الحرارة مقدارها 1170 جول وارتفعت درجة حرارتها من $25^o C$ إلى $92^o C$ ، أحسب الحرارة النوعية للمعدن ؟

الحل :

$$Specific\ Heat = q / m \times \Delta T = 1170 / 18.5 \times (92 - 25)$$

$$= 0.937 J / g\ ^{o}C$$

مثال (2) إذا أضيفت 25 جرام من معدن عند درجة حرارة $90^{o} C$ إلي 50 جرام من الماء عند درجة حرارة $25^{o} C$ ، فأن درجة حرارة الماء ترتفع إلى $29.8^{o}C$. وإذا علمت أن الحرارة النوعية للماء تساوي $4.18 J / g C^{o}$ فأحسب الحرارة النوعية للمعدن ؟

الحل:

كمية الحرارة المكتسبة من قبل الماء تساوي كمية الحرارة المفقودة من المعدن،وعليه فأن كمية الحرارة المكتسبة من قبل الماء(q) تساوي :

$$q = m \times \rho \times \Delta T = 4.18 J / g C \times 50 g \times (29.8 - 25) = 1004 J$$

الآن يمكن حساب الحرارة النوعية للمعدن حيث أن المعدن فقد نفس كمية الحرارة التي اكتسبها الماء ($q = 1004 J$) ودرجة حرارة المعدن النهائية هي نفس درجة حرارة الماء أي :

$$\Delta T = (29.8 - 90)^{o}C = - 1004 J / 25 g \times (29.8 - 90)\ ^{o} C = 0.667 J / g C^{o}$$

السعة الحرارية عند حجم ثابت (Cv) وعند ضغط ثابت (Cp)

السعة الحرارية Cv أي الحرارة المكتسبة عند حجم ثابت تستغل فقط لرفع الطاقة الحركية للجزيئات

بينما الحرارة المكتسبة عند ضغط ثابت Cp تستغل لعمل شغل معين نتيجة لتمدد وانكماش الغاز إضافة لرفع طاقة حركة الجزيئات . ورياضيا يمكن التعبير عنها كالآتي :

$$Cv = dE / dT \quad Cp = dH / dT$$

بالنسبة لغاز مثالي آحادي فأن الطاقة الحركية الانتقالية تساوي ($3/2\ R\ T$):

$$Cv = d\ (\ 3/2\ RT\ )\ /\ dT = 3/2\ R\ \ dT/dT = 3/2\ R$$

$$Cv = 3/2\ R$$

عند ثبوت الضغط $Cp = dH/\ dT = d\ (E + PV)\ /\ dT = dE/dT + d\ (PV)\ /\ dT$

$$Cp = dE/\ dT + P\ dV/\ dT :$$

لواحد مول من غاز مثالي : $PV = RT$

عند ثبوت الضغط: $P\ dV = R\ dT$:

$$Cp = dE/\ dT + RdT\ /\ dT$$

$$= Cv + R$$

$$Cp = Cv + R$$

الطاقة الحركية للغازات

من معادلة النظرية الحركية للغازات $PV = 1/3\ M\ C2$

حيثM = الكتلة المولية ، C = السرعة الجزيئية

لواحد مول من غاز مثالي : $PV = RT$

$RT = 1/3\ M\ C2$

بضرب طرف المعادلة الأيمن في 2 والقسمة على 2 :

$RT = 2/3 \times 1/2\ M\ C2$

بما أن الطاقة الحركية = $1/2\ M\ C2$ ، $K.E = 3/2\ RT$ $RT = 2/3\ K.E$

الطاقة الحركية لواحد مول من الغاز = $3/2\ RT$

لعدد n مول = $3/2\ n\ RT$

بما أن واحد مول يحتوي على رقم أفوجادرو من الجزيئات (N)

الطاقة الحركية لواحد جزيء يمكن حسابها من المعادلة :

$K.E = 3/2\ R/N\ T$

$K.E = 3/2K\ T$ حيثK = ثابت بولتزمان ، $K = 1.38 \times 1023\ J\ K1$

هذا يؤكد أن الطاقة الحركية للغازات تعتمد على درجة الحرارة وليس على نوعية الغاز .

تحليل الطاقة الحركية في ثلاث اتجاهات

بتحليل سرعة الجزيء في الثلاث اتجاهات (x , y , z) نحصل على :

$$C2 = C2x + C2y + C2z$$

بالضرب في 1/2 m نحصل على متوسط السرعة C2

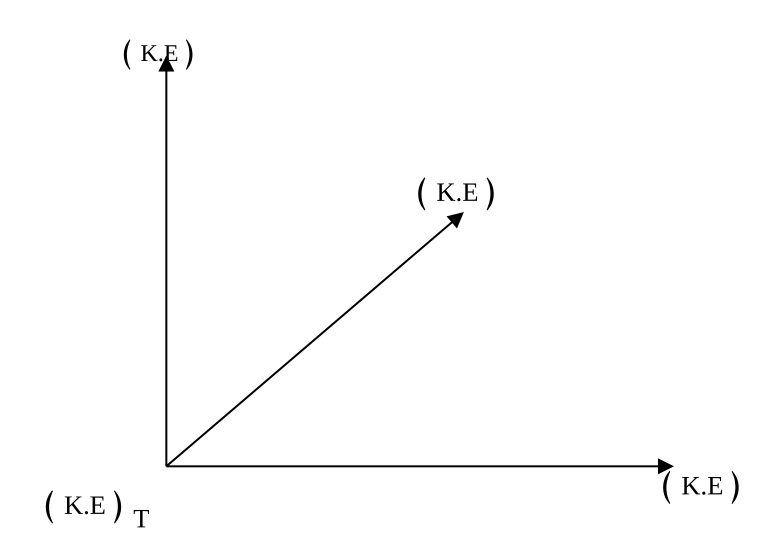
$$1/2\ m\ C2 = 1/2\ m\ C2x + 1/2\ m\ C2y + 1/2\ m\ C2z$$

$$K.E = (K.E)x + (K.E)y + (K.E)z$$

بما أن الطاقة الحركية الكلية للجزيء = 3/2 K T وبفرض أن مكونات الطاقة الثلاث متساوية

$$(K.E)x = (K.E)y = (K.E)z = 1/2\ KT$$

$$(K.E)x = 1/2\ KT * (K.E)y = 1/2\ KT * (K.E)z = 1/2\ KT$$



مثال : أحسب طاقة الحركة لكل من جزيء غاز الهيليوم وجزيء بخار الزئبق عند درجة حرارة 25 C ؟

الحل: متوسط طاقة الحركة لجزيء غاز معين عند درجة حرارة معينة تحسب من المعادلة :

$$K.E = 3/2\ KT$$

تتساوى طاقة الحركة لجزيء غاز الهيليوم وجزيء بخار الزئبق لأنها لا تعتمد على الكتلة الذرية ولكنها قيمة ثابتة تعتمد فقط على درجة الحرارة.

طبيعة الطاقة الداخلية بالنسبة للغازات

يمكن اعتبار الطاقة الداخلية مكونة من حاصل جمع قيمتين Two Components هما :

طاقة الغاز عند درجة حرارة صفر مطلق K 0. 0 = E_0

الطاقة المعتمدة على درجة الحرارة = E_T

بالنسبة لغاز آحادي الذرية وعند درجة الحرارة العادية E_T تمثل الطاقة الحركية الانتقالية للذرة وقيمتها تساوي 3/2 RT.

ومنها $E = E_0 + 3/2\ RT$

بالنسبة لغاز عديد الذرات وغير خطي :

$$E_T = E_e + E_v + E_r + E_t$$

E_e & E_v يمكن اعتبار قيمها عند درجات الحرارة العليا فقط ويمكن تجاهلها عند درجات الحرارة العادية . وعليه يمكن إيجاد الطاقة الداخلية من المعادلة :

$$E = E_0 + E_e + E_v + E_r + E_t$$

تعريف بعض المتغيرات الثرموديناميكية

المتغير	الاسم	معادلة التعريف	الوحدة الدولية	الرمز
P	الضغط	المسافة/ القوة= P	باسكال ، المساحة/ نيوتن	Pa N/ m2
V	الحجم	فراغ ذو ثلاث أبعاد	المتر المكعب	m 3
T	درجة الحرارة	---------	الكلفن	K
n	المول	وزن جزيء/ وزن	المول	Mol
w	الشغل	القوة x المسافة = الحجمx الضغط = w	الجول	J
q	الطاقة الحرارية	-------------	الجول	J

أنواع الثيرمومترات Types of Thermometer

الثيرمومترات هي أجهزة تستخدم لقياس درجات الحرارة ، وهي تعمل من خلال تغير أحد الخصائص الفيزيائية بتغير درجة الحرارة ، مثل خاصية تمدد الأجسام بزيادة درجة الحرارة وتغير الضغط أو مقاومة السلك الكهربي بتغير درجات الحرارة . الجدول التالي يوضح بعض أنواع الثيرمومترات المستخدمة :

نوع الثيرموميتر	المادة المستخدمة	الخاصية الطبيعية المتغيرة
1 - الثيرمومتر السائل Liquid Thermometer	الزئبق أو الكحول (Mercury or Alcohol)	التغير في الطول (تمدد) (Change in Length)
2 - الثيرمومتر الغازي Gas Thermometer	هيدروجين (Hydrogen)	التغير في الضغط (Change in Pressure)
3 – ثيرمومتر المقاومة Resistance Thermomete	البلاتين (Platinum)	التغير في المقاومة (Change in Resistance)

تغير الجهد الكهربي Change in Electrical Pot	مادة الكروميل والألو ميل (Chromel & Alumel)	4 – الثيرمومتر الجهدي Potential Thermometer
تغير لون الإشعاع Change in Radiation Col	البايروميتر (Pyrometer)	5 – الثيرمومتر الإشعاعي Radiation Thermomete
تغير في المجال المغناطيسي Change in Susceptibility	-----------------------	6 - الثيرمومتر المغناطيسي Magnetic Thermometer

من الملاحظ أن جميع الثيرمومترات بالجدول أعلاه تعتمد على تغير الخصائص الفيزيائية بتغير درجات الحرارة مما يجعل عدم وجود تدرج محدد لقياس درجة الحرارة ، حيث أن كل خاصية فيزيائية تتغير بعلاقة محددة مع تغير درجة الحرارة ولهذا لابد من إيجاد مقياس أو تدرج يعبر عن درجة الحرارة بغض النظر عن تغير الخاصية الفيزيائية وعليه تم التفكير في المقياس المئوي والفهرنهايت والمطلق .

التدرج المئوي (Celsius Scale)

يعتمد هذا التدرج على نقطة انصهار الماء(تحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة) وهي 0^o C

ونقطة غليان الماء أي عندما يتساوى ضغطها مع الضغط الجوي وهي 100^o C

التدرج الفهرنهايتي (Fahrenheit Scale)

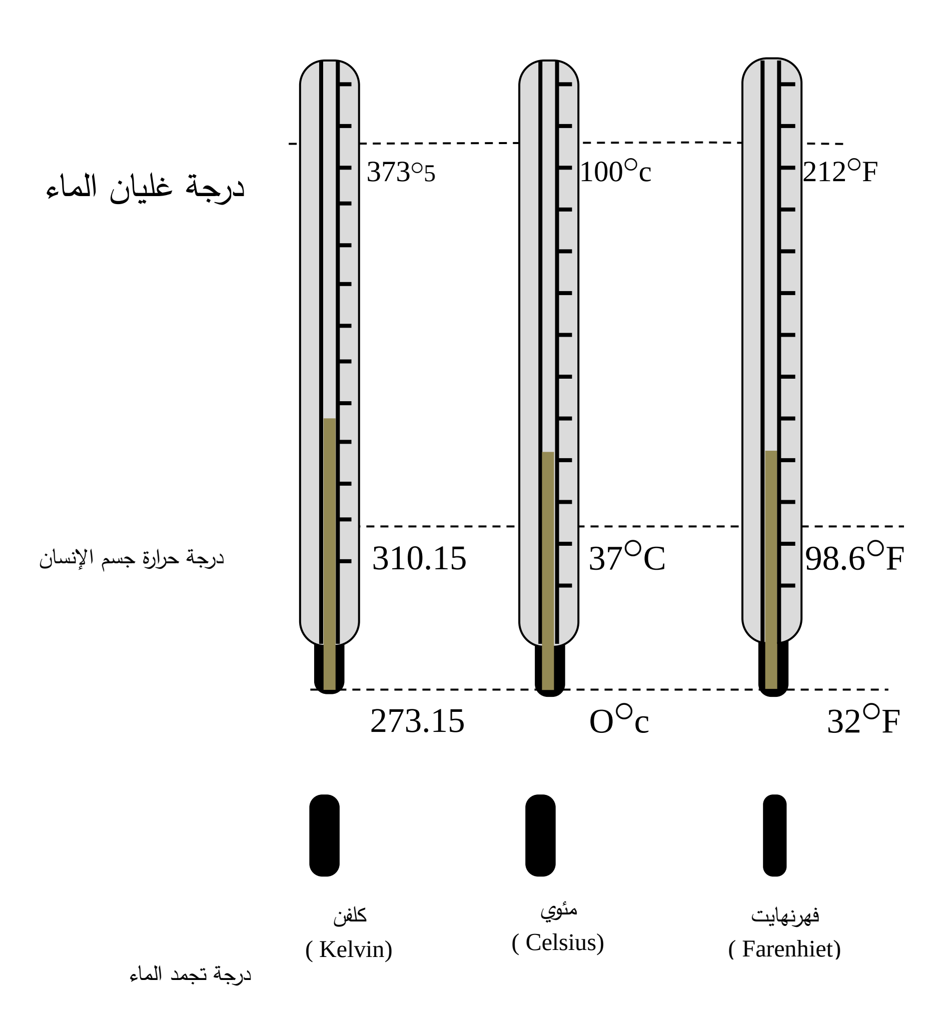
هنا اعتبرت درجة انصهار الماء 32^o F ودرجة الغليان 212^o F وعليه تصبح كل 100^o C تعادل 180^o F ويمكن تحويل الفهرنهايت إلى مئوي بالمعادلة : - $C^o = 5/9 (F^o - 32)$

التدرج المطلق (Kelvin Scale)

في التدرج المئوي والفهرنهايت تم الاعتماد على نوع مادة السائل وهو الماء، حيث تم اعتبار نقطة الانصهار ونقطة الغليان كأساس للتدرج، وبما أن هاتين النقطتين تعتمدان على الضغط وعدد من العوامل الأخرى لذا فأننا بحاجة إلى تدرج مطلق لا يعتمد على طبيعة المادة وهذا ما قام به العالم كلفن في تحديد تدرج مطلق لدرجة الحرارة . قام العالم كلفن بدراسة العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لعدد من الغازات ووجد أن جميع الغازات يقل ضغطها بنقصان درجة الحرارة وأن الضغط يصبح صفر من الناحية النظرية وذلك عند مد المنحنيات كما في الشكل أدناه وهي تعادل $- 273^o$ C . وقد تم اعتبار هذه الدرجة هي الصفر المطلق وأنها لا تتغير بتغير نوع الغاز وعليه تم معايرة باقي التدريجات الأخرى بالنسبة للصفر المطلق .

الوحدات الرئيسية لدرجة الحرارة

(Main Units for Temperature)



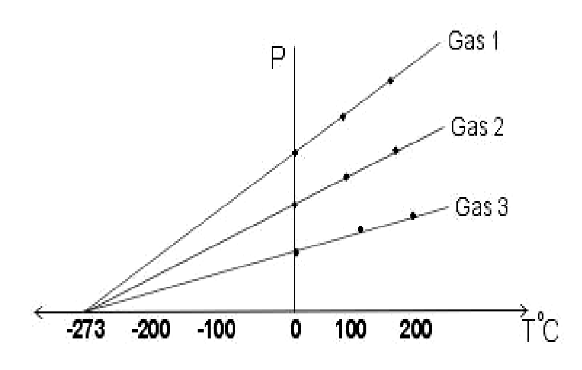
$$F^o = (9/5)\ C^o + 32$$

$$C^o = 5/9\ (F - 32)$$

$$K^o = C^o + 273.15$$

$$K^o = 5/9\ (F - 32) + 273.15$$

رسم العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة :



الشغل (W) Work

يعرف الشغل الميكانيكي(Mechanical Work) بأنه حاصل ضرب القوة في الإزاحة أو الضغط في التغير في الحجم (ويرمز له بالرمز) w .

$$W = F\ \Delta L \text{ --------------------------- } (1)$$

حيث (W) هو الشغل الناتج من تأثير قوة قدرها (F) على النظام مسافة قدرها (Δ L) .

مثال: تمدد غازموجود داخل اسطوانة مزودة بمكبس متحرك عديم الوزن والاحتكاك مساحة سطحه (A) عند ظروف معينة من الحجم والضغط ودرجة الحرارة .

عندما يتمدد الغاز يدفع المكبس إلى أعلى ضد ضغط مضاد قدره (P) معاكس لاتجاه التغير منجزا شغلا ضد المحيط . وبما أن الضغط هو القوة الواقعة على وحدة المساحة :

$$P = F / A \ ,F = PA \text{ -------------------- } (2)$$

وعليه يكون الشغل المنجز نتيجة للتمدد هو :

$$W = PA \Delta L \text{ ------------------------------------ } (3)$$

وبما أن المكبس ينزاح باتجاه معاكس لاتجاه القوة ، فأن التغير في الحجم (ΔV) يساوي حاصل

ضرب مساحة المقطع (A) في الإزاحة (ΔL) مسبوقا بإشارة سالبة :

$$\Delta V = - A \Delta L \text{ ------------------------------ } (4)$$

وعليه يكون الشغل المنجز: $W = - P \Delta V = - P (V2 - V1)$

حيث V 1 تساوي الحجم الابتدائي للغاز، V2 تساوي الحجم النهائي للغاز .

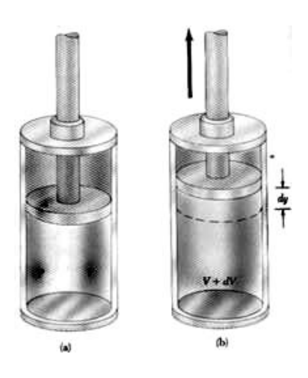
وتدل الإشارة السالبة على أن طاقة النظام تنخفض عندما يزداد الحجم أي أن النظام يعمل شغلا على المحيط . تعتمد قيمة الشغل على الضغط الخارجي (P) :

إذا كانت قيمة (P) تساوي الصفر ، أي أن الغاز يتمدد ضد الفراغ ، فأن الشغل يساوي صفر .

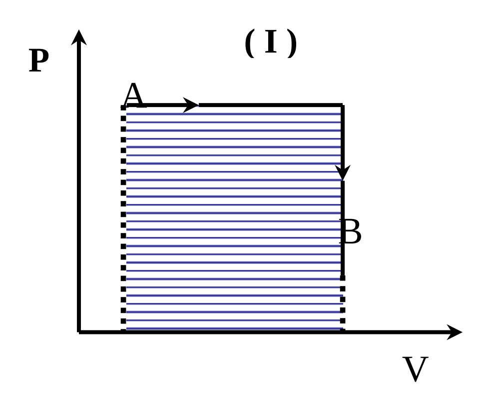
إذا كانت قيمة (P) موجبة فأن الشغل يعطى حسب المعادلة .

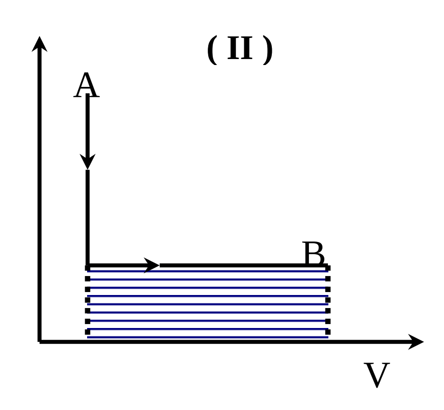
إذا كانت قيمة (P) أصغر من ضغط الغاز ، فأن الغاز يتمدد ضد المحيط وتكون ($V2 > V1$) وعليه تكون قيمة (W) سالبة أي أن النظام أنجز شغلا على المحيط .

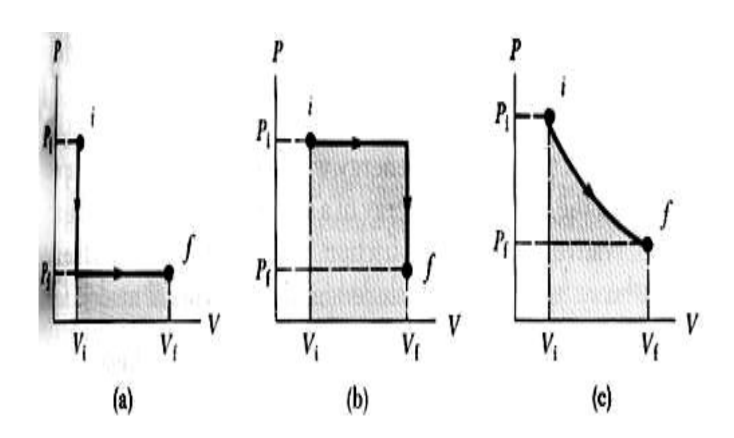
إذا كان ضغط المحيط أكبر من ضغط الغاز فأن الغاز ينكمش وتصبح ($V2 < V1$) وتكون قيمة (W) موجبة ، أي أن المحيط عمل شغلا على النظام .



رسم بياني يوضح إعتماد الشغل على مسار التغير:







مثال: إذا تمدد غاز مثالي عند درجة حرارة (25^o C) من الحجم 2 لتر إلى الحجم 5 لترات عند ضغط ثابت ، أحسب الشغل المنجز عندما يتمدد الغاز :

أ - ضد الفراغ

ب - ضد ضغط ثابت مقداره ثلاث جو .

الحل:

أ - بما أن الضغط المضاد يساوي صفر وحسب معادلة الشغل :

$$W = - P (V2 - V1) = 0 (5 - 2) = Zero$$

ب - عندما يكون الضغط المضاد يساوي ثلاث جو :

$$W = - P (V2 - V1) = - 3 (5 - 2) = - 9 \text{ atm. L}$$

$$=-9 \text{ atm. L} \times 101.3 = 911.7 \text{ J}$$

مثال : إذا علمت أن التغيرات الكيميائية التالية تحدث عند ضغط ثابت :

$$1 - Sn(s) + 2F_2(g) \rightarrow SnF_4(s)$$

$$2 - AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$$

$$3 - C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

$$4 - SiI_4(g) \rightarrow Si(s) + 2I_2(g)$$

حدد في كل حالة هل الشغل يعمل من :

قبل النظام على المحيط

المحيط على النظام أو أن كمية الشغل قليلة ويمكن إهمالها الحل:

1 - في الحالة الأولى يقل حجم النظام لذلك فأن الشغل يعمل على النظام من قبل المحيط .

2 - يمكن إهمال الشغل لأنه لا توجد مواد غازية متفاعلة أو ناتجة .

3 - التغير في الحجم يساوي تقريبا صفر ، لتساوي عدد المولات الغازية في النواتج والمتفاعلات وعليه يمكن إهمال الشغلأو كميته تساوي الصفر .

4 - هنالك تمدد ، لذلك فأن النظام يعمل شغلا على المحيط .

مثال: أحسب الطاقة بوحدة السعر الحراري المطلوبة لزيادة حجم مادة بمقدار 1.0 cm3 والتي تكون معاكسة لضغط قدره واحد جو ؟

الحل : الشغل المبذول عندما تتمدد المادة يحسب من المعادلة

$$W = P \Delta V$$

$P = 1.0$ atm. $= 1.013 \times 106$ dynes /cm2 $\Delta V = 1.0$ cm3

$W = 1.013 \times 106 \times 1 = 1.013 \times 106$ dynes / c2m (erg)

لتحويل الوحدة إلى السعر الحراري نقسم على 4.2×107

$W = 1.013 \times 106 / 4.2 \times 107 = 0.0242$ cal

مثال: أحسب الشغل المبذول عندما تذوب 50 جرام من الحديد في حمض الهيدروكلوريك عندما يجرى التفاعل :

أ - في إناء مغلق ب - في إناء مفتوح

الحل:

معادلة التفاعل : $Fe (s) + 2 HCl (aq) \longrightarrow FeCl_2 (aq) + H_2 (g)$

واحد مول من الغاز ينتج من تفاعل واحد مول من الحديد وعند إهمال الحجم الأصلي للنظام:

$P \Delta V = PV = n RT$

عندما يكون الإناء مغلق لا يتمدد الغاز $W = - P \Delta V = 0$

عندما يكون الإناء مفتوح $W = - P \Delta V = - nH2 RT$ عدد مولات الهيدروجين =

عدد مولات الحديد

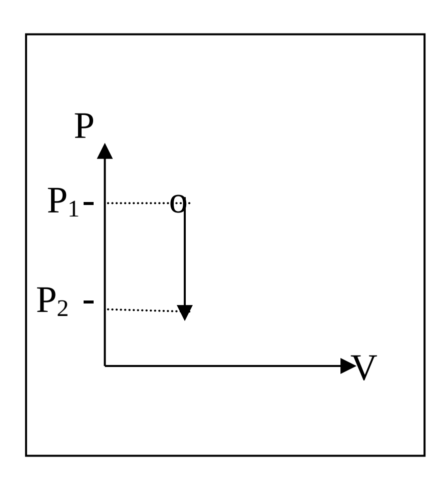
= 56 / 50 = 89 .0 مول

$R = 8.314 J / K mol , T = 298 K$

$W = 0.89 \times 8.314 \times 298 = 2.2 KJ$

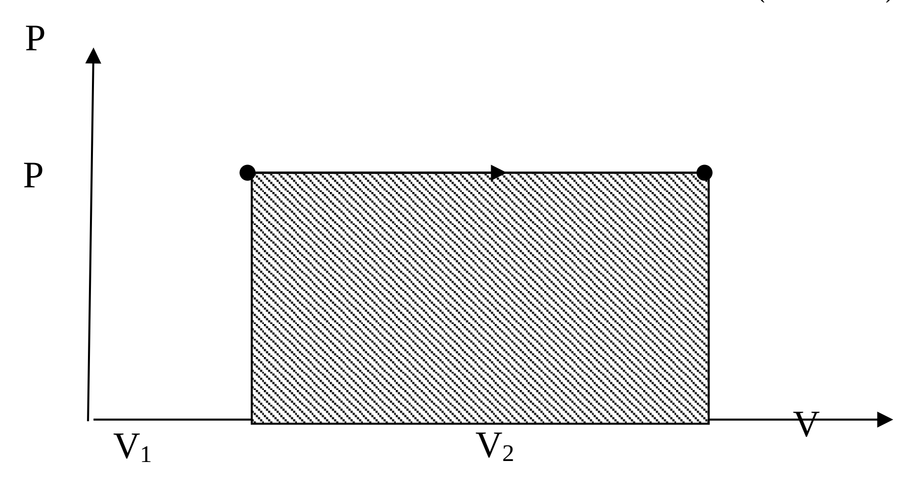
الشغل المبذول عند ثبوت الحجم : ($\Delta V = 0$)

$W = P \Delta V = 0$



الشغل المبذول عند ثبوت الضغط :

$$W = P (V2 - V1)$$



الفصل الرابع عشر

قوانين الحركة لنيوتن

قوانين نيوتن للحركة عبارة عن مجموعة من القوانين الفيزيائية التي تعد أساس الميكانيكا الكلاسيكية,وتربط هذه القوانين القوى المؤثرة على الجسم بحركته وأول من جمعها هو السير أسحق نيوتن, وقد أستخدم هذه القوانين في تفسير العديد من الأنظمة والظواهر الفيزيائية وهي كما يلي:

قانون نيوتن الأولNewton's First Law : يظل الجسم على حالته الحركية (إما السكون التام أو التحريك في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثر عليه قوة تغير من هذا الحالة. $\sum F = 0$

قانون نيوتن الثاني:Newton's second law : إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى $\sum F$ على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً a، يتناسب مع محصلة القوى المؤثرة، ومعامل التناسب هو كتلة القصور الذاتي m للجسم ..أي أن : $\sum F = ma$

قانون نيوتن الثالثNewton's third law لكل فعل رد فعل، مساو له في المقدار ومعاكس في الاتجاه.بشرط ان لايتأثر من تلقى الفعل بشكل سلبي يؤثر على رد فعله.مثلا ان تطلق النار على شخص وتقتله فلن يكون هناك رد فعل .

قوة الاحتكاكForce of friction : القوة التي تقاوم الحركة بسبب تلامس سطح الجسم المراد تحريكه مع أسطح أخرى .

قوة الاحتكاك الساكن Static friction : fs تمثل أقل قوة لتحريك الجسم الساكن ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة: msN = fs حيث يعرف ثابت التناسب ms (ميو) باسم معامل الاحتكاك الساكن(Coefficient of Static)

قوة الاحتكاك الحركي Kinetic friction وتعرف قوة الاحتكاك بين سطحين لجسمين متحركين fk ترتبط بالقوة العمودية على سطح الاحتكاك N بالعلاقة : mkN = Fk حيث يعرف mk بمعامل الاحتكاك الحركي (Coefficient of kinetic)

قانون نيوتن الأول

قانون نيوتن الأولNewton's First Law هو أحد قوانين الحركة التي وضعها العالم الإنكليزي إسحق نيوتن وينص على التالي:

يظل الجسم في حالته الساكنة(إما السكون التام أو التحريك في خط مستقيم بسرعة ثابتة) ما لم تؤثر عليه قوة تغير من هذا الحالة .

$$\sum F = 0$$

يشير القانون الأول للحركة - في علم الفيزياء- أنه إذا كان مجموع الكميات الموجهة من القوى التي تؤثر على جسم ما صفرا، فسوف يظل هذا الجسم ساكنا. وبالمثل فإن أي جسم متحرك سيظل على حركته بسرعة ثابتة في حالة عدم وجود أية قوى تؤثر عليه مثل قوى الاحتكاك .

ولقد استطاع العالم ابن سينا في القرن الرابع الهجري / العاشر الميلادي أن يصوغ في كتابه الإشارات والتنبيهات هذا القانون بلفظه: "إنك لتعلم أن الجسم خلي وطباعه، ولم يعرض له من خارج تأثير غريب، لم يكن له بد من موضع معين، فإذن في طباعه مبدأ استيجاب ذلك".

ويشير إلى خاصية القصور الذاتي للجسم التي بها يدافع عن استمراره في الحركة المنتظمة وهو المعنى الثاني للقانون الأول للحركة فيقول: "الجسم له في حال تحركه ميل (مدافعة) يتحرك بها، ويحس به الممانع ولن يتمكن من المنع إلا فيما يضعف ذلك فيه، وقد يكون من طباعه، وقد يحدث فيه من تأثير غيره فيبطل المنبعث عن انطباعه إلى أن يزول فيعود انبعاثه. وهذا هو القانون الأول لابن سينا.

ويقول في كتابه الشفاء: "... وليست المعاوقة للجسم بما هو جسم، بل بمعنى فيه يطلب البقاء على حاله من المكان أو الوضع... وهذا هو المبدأ الذي نحن في بيانه". ويستطرد في تأكيده لذات المعنى مرة أخرى بقوله: "ولكننا إذا حققنا القول، وجدنا أصح المذاهب مذهب من يرى أن المتحرك يستفيد ميلا من المحرك، والميل هو ما يحس بالحس إذا ما حوول أن يسكن الطبيعي بالقسر، أو القسري بالقسر". أي أن الجسم يكون له -حال تحركه- ميل للاستمرار في حركته، بحيث أنه إذا تمت إعاقته أحس الموقف بمدافعة يبديها الجسم للإبقاء على حاله من الحركة سواء كانت هذه الحركة طبيعية أو قسرية. وهذا يعني أن ابن سينا يدلل بأن الجسم إذا لم يتعرض لقاسر خارجي، وترك لطبعه، فإن فيه خاصية تدعو للمحافظة على حالته الطبيعية، وتدافع عن بقائه على ما هو عليه.

قانون نيوتن الثاني

قانون نيوتن الثانيNewton's second law هو أحد قوانين الحركة التي وضعت من قبل العالم الإنكليزي إسحق نيوتن وينص على التالي :

إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى $\sum F$ على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً a، يتناسب مع محصلة القوى المؤثرة، ومعامل التناسب هو كتلة القصور الذاتيm للجسم ..أي أن :

$$\sum F = ma$$

وهذا القانون ويتعلق بدراسة الأجسام المتحركة، وهو ينص بصيغة اخرى على ان أن تسارع جسم ما أثناء حركته، يتناسب مع القوة التي تؤثر عليه، وفي تطبيق هذا القانون على تساقط الأجسام تحت تأثير جاذبية الأرض تكون النتيجة أنه إذا سقط جسمان من نفس الارتفاع فإنهما يصلان إلي سطح الأرض في نفس اللحظة بصرف النظر عن وزنهما ولو كان أحدهما كتلة حديد والآخر ريشة، ولكن الذي يحدث من اختلاف السرعة مرده إلى اختلاف مقاومة الهواء لهما في حين أن قوة تسارعهما واحدة.

وقد تصدى لهذه القضية العديد من علماء الميكانيكا والطبيعيات المسلمين فيقول الإمام فخر الدين الرازي في كتابه "المباحث المشرقية"

"فإن الجسمين لو اختلفا في قبول الحركة لم يكن ذلك الاختلاف بسبب المتحرك، بل بسبب اختلاف حال القوة المحركة، فإن القوة في الجسم الأكبر، أكثرمما في الأصغر الذي هو جزؤه لأن ما في الأصغر فهو موجود في الأكبرمع زيادة"، ثم يفسر اختلاف مقاومة الوسط الخارجي كالهواء للأجسام الساقطة فيقول: "وأما القوة القسرية فإنها يختلف تحريكها للجسم العظيم والصغير لا لاختلاف المحرك بل لاختلاف حال المتحرك فإن المعاوق في الكبير أكثر منه في الصغير، وهكذا نجد أن المسلمين قد اقتربوا إلى حد بعيد جداً إلي معرفة القانون الثاني.

قانون نيوتن الثالث

قانون نيوتن الثالث (Newton's third law) هو أحد قوانين الحركة التي وضعها إسحق نيوتن وينص على التالي:

"لكل قوة فعل قوة رد فعل، مساوي له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه يعملان في نفس الخط"

فمثلا لا يطير الصاروخ أو المكوك الفضائي إلا بسرعة 11 كلم في الثانية لتحدي قوة جاذبية الأرض أي بسرعة 39600 كلم في الساعة.

فالجسم يبذل قوة لأنه يتفاعل مع جسم آخر. فالقوة التي يبذلها جسم (1) على جسم (2) لا بد أن تكون من نفس الحجم ولكن في اتجاه معاكس للقوة التي يبذلها الجسم 2 على الجسم 1 . على سبيل المثال، إذا قام شخص بالغ كبير بدفع طفل على زلاجة دفعا خفيفا، فبالإضافة إلى القوة التي يمنحها البالغ للطفل، فإن الطفل يمنح للبالغ قوة مساوية ولكن في اتجاه عكسي. ومع هذا، وحيث أن كتلة البالغ أكبر، فسوف تكون عجلة البالغ أقل.

ويورد ابن ملكا البغدادي في كتابه المعتبر : "أن الحلقة المتجاذبة بين المصارعين لكل واحد من المتجاذبين في جذبها قوة مقاومة لقوة الآخر. وليس إذا غلب أحدهما فجذبها نحوه يكون قد خلت من قوة جذب الآخر، بل تلك القوة موجودة مقهورة، ولولاها لما احتاج الآخر إلى كل ذلك الجذب".

ويورد فخر الدين الرازي نفس المعنى في كتابه المباحث المشرقية إذ يقول: "الحلقة التي يجذبها جاذبان متساويان حتى وقفت في الوسط، لا شك أن كل واحد منهما فعل فيها فعلا معوقا بفعل الآخر... ثم لا شك أن الذي فعله كل واحد منهما لو خلا عن المعارض لاقتضى انجذاب الحلقة إلى جانبه، فثبت وجود شيء لو خلا عن المعوق لاقتضى الدفع إلى جهة مخصوصة...".

ويقول ابن الهيثم في كتابه المناظر : "المتحرك إذا لقي في حركته مانعا يمانعه، وكانت القوة المحركة له باقية فيه عند لقائه الممانع، فإنه يرجع من حيث كان في الجهة التي منها تحرك، وتكون قوة حركته في الرجوع بحسب قوة الحركة التي كان تحرك بها الأول، وبحسب قوة الممانعة".

احتكاك

الاحتكاك هي القوة المقاومة التي تحدث عند تحرك سطحين متلاصقين باتجاهين متعاكسين عندما يكون بينهما قوة ضاغطة تعمل على تلاحمهما معا (وزن أحد الجسمين مثلا). وتنتج كمية من الحرارة.

يحدث الاحتكاك بين المواد الصلبة، السائلة و الغازية أو أي تشكيلة منهم.

وقوة الاحتكاك هي حاصل ضرب القوة الضاغطة بين الجسمين في معامل الاحتكاك. قح = قض X μ حيث: قح: قوة الاحتكاك قض: القوة الضاغطة بين الجسمين أو القوة العمودية على السطح الفاصل بينهما μ: معامل الاحتكاك، إما الساكن(μس) أو الحركي(μح)

يعتبر الاحتكاك قوة تطبق في الاتجاه العكسي لسرعة الجسم. فمثلا إذا دُفع كرسي على الأرض نحو اليمين تكون قوة الاحتكاك متجهة إلى اليسار. تنشأ قوة الاحتكاك بين الأجسام نتيجة وجود نتوءات وفجوات بين الأسطح فكلما كانت الأسطح ملساء كلما قلت تلك القوة. أثناء تحرك الجسم على السطح ، تصطدم كل من النتوءات الصغيرة الموجودة عليه وذلك السطح، وحينئذ تكون القوة مطلوبة لنقل النتوءات بجانب بعضها الآخر. وتعتمد منطقة الاتصال الفعلي على القوة العمودية بين الجسم والسطح المنزلق. وتتناسب هذه القوة الاحتكاكية مع إجمالي القوة العمودية وتعادل هذه القوة غالبا وزن الجسم المنزلق تماما. و في حالة الاحتكاك الجاف المنزلق حيث لا يوجد تشحيم أو تزييت، تكون قوة الاحتكاك مستقلة عن السرعة تقريبا. كما أن قوة الاحتكاك لا تعتمد على منطقة الاتصال بين الجسم والسطح الذي ينزلق عليه.

وتعتبر منطقة الاحتكاك الفعلية منطقة صغيرة الحجم نسبيا، وتعرف منطقة الاحتكاك بأنها تلك المنطقة التي يحدث فيها تلامس فعلي بين كل من النتوءات الصغيرة الموجودة على الجسم والسطح الذي ينزلق عليه.

معامل الاحتكاك:

معامل الاحتكاك هو كمية عددية تستخدم للتعبيرعن النسبة بين قوة الاحتكاك بين جسمين والقوة الضاغطة بينهما، و ليس له وحدة قياس . ويعتمد على مادتي الجسمين .مثلا الجليد على المعدن لهما معامل احتكاك قليل (أي إنهما ينزلقان على بعض بسهولة). أما المطاط على الإسفلت فلهما معامل احتكاك عالي جدا (لا ينزلقان على بعض)، انظر الجدول. μس السطح 2 السطح 1 0.06 جليد خشب 0.02 - 0.1 ثلج نحاس أصفر 0.07 معدن (مشحم) معدن 0.25 خشب بلوط خشب بلوط 0.5 - 0.9 خرسانة (مبللة) مطاط 0.7 - 1 خرسانة جافة مطاط معامل الاحتكاك الساكن لبعض المواد.

يعتبر معامل الاحتكاك كمية تجريبية، أي انه يجب قياسه عن طريق التجربة ولا يمكن حسابه بالمعادلات الرياضية. كما إن معظم المواد الجافة مع بعضها تعطي معامل احتكاك بين 0.3 و 0.6. و من الصعب الحصول على قيمة خارج هذا المجال. إن قيمة 0 لمعامل الاحتكاك تعني أنه لا يوجد احتكاك بالمرة وسينزلق الجسمان على بعضهما إلى ما لا نهاية.

ويكون معامل الاحتكاك الساكن أكبر من الحركي لأن النتوءات والفجوات الموجودة بين أسطح الأجسام المتلاصقة تتداخلان في بعضهما فتسببان مقاومة السطحين للانزلاق. ولكن إذا بدأ الجسم في الانزلاق فلن يتوفر الوقت اللازم للسطحين لكي يتلاحما تماماً كل مع الآخر.

أنواع الاحتكاك:

الاحتكاك الساكن:

يحدث الاحتكاك الساكن عندما يكون الجسمان غير متحركان بالنسبة إلى بعضهما البعض (مثل الطاولة على الأرض). معامل الاحتكاك الساكن يرمز له بالرمز (μس). القوة الابتدائية اللازمة لتحريك هذا الجسم تكون عادة أكبر بقليل من قوة الاحتكاك الساكن.

الاحتكاك الحركي:

يحدث الاحتكاك الحركي عندما يتحرك الجسمين بالنسبة إلى بعضهما البعض و يحتك احدهما بالآخر(مثل مز لجة على الأرض). معامل الاحتكاك الحركي يرمز له بالرمز (μح). و يكون عادة اقل من معامل الاحتكاك الساكن.

أمثلة على الاحتكاك الحركي:

الاحتكاك الانزلاقي: يحدث عندما يحتك جسمين صلبين ببعضهما البعض (مثل تحريك كتاب على الطاولة).

الاحتكاك المائع (احتكاك الموائع): يحدث عندما يتحرك جسم صلب خلال مادة سائلة أو غازية (مثل مقاومة الهواء لحركة الطائرة، أو مقاومة الماء لحركة الغطاس).

الاحتكاك الدحروجي: يحدث عندما يتحرك الجسمين بالنسبة إلى بعضهما البعض. لكن "يتدحرج" أحد الجسمين على الآخر (مثل عجلات السيارة على الأرض).

الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك: عندما يتحرك جسم على سطح بمعامل احتكاك حركي(μح) و قوة عمودية(قع) تكون كمية الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك U تساوي: U = μح X قع X ف حيث ف هي المسافة المقطوعة بواسطة الجسم. هذه المعادلة مماثلة للمعادلة (الطاقة المفقودة=القوةXالمسافة) و هذا لأن الاحتكاك كمية غير متجهة. مع ملاحظة إن هذه المعادلة تنطبق على الاحتكاك الإنزلاقي فقط و ليس الدحروجي.

فوائد الاحتكاك:

كثيرا ما ننظر إلى قوة الاحتكاك على أنها قوة مبددة ، ومعيقة لحركة الأجسام ،وعندما نحسب الشغل المبذول ضد الاحتكاك نعتبره شغلا ضائعا ونحاول في الكثير من التصاميم الميكانيكية تقليل قوى الاحتكاك إلى أقل قدر ممكن

بغية تحقيق أداء أفضل للآلات والماكينات ولكن.. هل الاحتكاك ضار إلى هذا الحد؟ وما الذي سيحدث لو أن الاحتكاك في لحظة ما قد اختفى من العالم، أي أصبح صفرا؟ إذا اختفى الاحتكاك فلا بد إن السيارات والقطارات وجميع وسائل المواصلات لن تستطيع أن تتحرك لأنها تتحرك بواسطة الاحتكاك بين الأرض و العجلات. و حتى لو تحركت فإنها لن تستطيع أن تتوقف، لأن الفرامل تعتمد أساسا على الاحتكاك.كما لن يستطيع الناس السير أو حتى الوقوف وقفة سليمة، و كأنهم واقفون على أرضية جليدية. و لن يستطيعوا أن يمسكوا بأي شيء لأنه سينزلق من أيديهم. كما ستتفتت الجبال و لن يبقى عليها أي غطاء من التربة .و لن تبقى أي بناية سليمة بل ستتهدم. وستفك الحبال المربوطة. كل هذا بسبب الانزلاق و انعدام الاحتكاك. باختصار، الحياة مستحيلة بدون احتكاك.

فللاحتكاك فوائد مهمة؛ فهو يجعل عجلات السيارة تتحرك على الرصيف، ويجعل عجلات القاطرة تمسك بقضبان السكك الحديدية. وهو يسمح للسير الناقل بأن يدير البكرة دون انزلاق. وأنت لا تستطيع السير دون الاحتكاك لتمنع حذاءك من التزحلق على الرصيف. ولهذا فمن الصعب السير على الجليد؛ حيث إن السطح الأملس يسبب احتكاكاً أقل من الرصيف، وبذلك يسمح للحذاء بالانزلاق. ويثبت التربة على سطح الجبال و يثبت البنايات ويجعلها قائمة. ويجعل الحبال المربوطة تبقى ثابتة. بالإضافة إلى العشرات إن لم يكن المئات من الفوائد الأخرى.

مساوئ الاحتكاك:

على الرغم من أهمية الاحتكاك واستحالة الحياة بدونه كما رأينا، إلا إن له مساوئ عديدة قد تؤدي إلى أضرار كبيرة على المدى البعيد. الشغل المبذول بواسطة الاحتكاك يتم تحويله إلى تشوه و حرارة. ففي الآلات، يجعل الاحتكاك جزءا كبيرا من الطاقة المبذولة يذهب سدى. ويحولها إلى حرارة تتطلب المزيد من التبريد. وأحيانا يؤدي الاحتكاك إلى ذوبان بعض الأجسام كما يؤدي إلى التشوه، والتشوه في الأجسام صفة متلازمة مع الاحتكاك. مع انه قد يكون مفيدا في بعض الحالات (مثل صقل الأجسام). إلا انه عادة يكون مشكلة، لأن الأجسام تبلى و تفقد قدرتها على التحمل، وقد تتعطل بعض الآلات. وعلى المدى الطويل يمكن أن تؤثر على خصائص السطوح وقد تؤثر على معامل الاحتكاك نفسه، و تستطيع أن ترى هذا بنفسك في إطارات السيارات القديمة، حيث يكون سطحها أملس تماما. هذه هي مساوئ الاحتكاك في الحياة العملية. و قد كان و ما زال للاحتكاك اثر سلبي في تطور العلم، فقد تأخر استنتاج قوانين الحركة لسنوات عديدة بسبب الاحتكاك. و لأن الحرارة والحركة المتولدة عن الاحتكاك تتبدد بسرعة،

فقد استنتج العديد من الفلاسفة القدماء (ومنهم أرسطو) إن الأجسام المتحركة تفقد من طاقتها بدون وجود قوة معاكسة لها. وهذه النظرية الخاطئة لم تكن لتصاغ لولا الاحتكاك.

طرق تقليل الاحتكاك

الأجهزة: مثل العجلات أو الأنابيب الدوارة المستخدمة في المطارات لنقل الحقائب من مكان إلى آخر. والتي تحول الاحتكاك الإنزلاقي إلى احتكاك دحروجي. و الذي يقلل من الاحتكاك.

التقنيات: إحدى التقنيات التي يستعملها مهندسو القطارات هي جعل الروابط بين مقطورات القطار رخوة. و هكذا يستطيع القطار أن يسحب كل مقطورة على حدة بدلا من سحبها جميعا. وهذا يقلل الاحتكاك الكلي و يجعله موزعا على الزمن.

المزلقات أو سوائل التزليق:

من أهم الوسائل المستخدمة لتقليل الاحتكاك هي استخدام المزلقات، مثل الزيوت والشحوم. فالزيت يقلل الاحتكاك. فمعامل الاحتكاك لحديد متدحْرج على خشب مزيت على سبيل المثال يصبح أقل كثيرا من 0,018، لأن نوع السطح ليس له أثر تقريباً عندما يكون مغطى بالزيت أو بسوائل أخرى،

وحينئذ يعتمد الاحتكاك على لزوجة السائل والسرعة النسبية بين الأسطح المتحركة. مع ان معظم المزلقات تكون سائلة، إلا إن بعضها صلب مثل التلك و الجرافيت.

والمزلقات السائلة تكون ذات " لزوجة" قليلة توضع بين سطحين لتقليل معامل الاحتكاك بدرجة كبيرة. والسوائل اللطيفة أقل لزوجة من السوائل الغليظة، وأسرع تدفقًا. فاللزوجة خصيصة من خصائص الموائع تجعلها تقاوم التدفق. وهي تحدث نتيجة للاحتكاك الداخلي لجزيئات السائل التي يتحرك بعضها قبالة بعض. فالمائع ذو اللزوجة المنخفضة (صابون مثلا)، يتدفق بسرعة أكبر من المائع ذي اللزوجة العالية (صمغ مثلا).

ولجميع الموائع، بما في ذلك السوائل، و الغازات، درجة معينة من اللزوجة. وبعض المواد التي تبدو صلبة، مواد ذات لزوجة عالية وتتدفق ببطء شديد ومثال ذلك القار. ودرجة اللزوجة مهمة جداً في العديد من الاستعمالات. فعلى سبيل المثال، تحدد لزوجة زيت المحرك كفاءته في تشحيم أجزاء محرك السيارة. وكلما كان تداخل جزيئات السائل أكثر قوة، كان للسائل لزوجة أكبر. وعموماً، كلما كان حجم أو طول الجزيء أكبر، كان التداخل أقوى. وتحدد درجة حرارة المائع قوة تداخل جزيئاته، حيث تتداخل الجزيئات في المائع أكثر كلما انخفضت درجة الحرارة.

وهكذا، فإن الموائع الساخنة تكون ذات لزوجة أقل من لزوجة الموائع الباردة. ولكن جزيئات الغاز تتداخل بقوة أكثر في درجة حرارة عالية. لذلك فإن لها لزوجة أكبر من لزوجة الغازات الباردة. وإحدى طرق زيادة لزوجة سائل هي إذابة البوليمرات (سلاسل جزيئية طويلة) فيه. وتصبح هذه الجزيئات متشابكة فتقاوم التدفق. كذلك، فإن إضافة جسيمات صلبة للمائع يزيد أيضًا من درجة اللزوجة.

الالتحام البارد:

مع انه كلما زادت الخشونة زاد الاحتكاك. لكن إذا وضع سطحين ناعمين جدا (قريبين من النعومة التامة) من المعدن مع بعض وأزيلت الشوائب بينهما تماما بواسطة الفراغ ، فانهما سيلتصقان مع بعض و يصبح من الصعب فصلهما وهو ما يسمى بـ "الالتحام البارد". هذا يعني انه عندما يصل الجسم إلى مرحلة قريبة من النعومة التامة. يصبح الاحتكاك معتمدا على طبيعة القوى الجزيئية في مساحة الالتحام. لذا فإن الأجسام المختلفة التي لها نفس درجة النعومة قد يكون لها معاملات احتكاك مختلفة جدا .

الفصل الخامس عشر

الجيوفيزياء البيئية

Environmental Geophysics

الجيوفيزياء والمسح الجيولوجي

تشمل تقنيات التنقيب المسح الجيولوجي الطبقي Stratigraphic Survey، الذي تستخدم فيه أدوات الاستشعار عن بعد، كالصور الجوية الرادارية والتصوير بالأقمار الصناعية، إلى جانب الدراسات الميدانية بهدف تحديد العناصر الجيولوجية الرئيسية في مناطق معينة، وأنواع صخورها، وامتدادها السطحي وتراكيبها المتنوعة، ورسم خرائط جيولوجية لها، وتقدير احتمالات تكون البترول في طبقات رسوبية معينة، وترتيبها وأعماقها وسمك الطبقات الخازنة المحتملة، وبعض خصائص المصائد البترولية. ثم تأتي بعد ذلك مرحلة المسح الجيوفيزيائي باستخدام الطرق السيزمية والجاذبية والمغناطيسية والمقاومة الكهربية، والاستقطاب المستحث، والجهد الذاتي والإشعاع الإلكترومغناطيسي لتحديد أهم الخواص الطبيعية للصخور، مثل الكثافة والمسامية والمرونة والسعة الكهربية والصفات المغناطيسية.

المسح الجيولوجي الطبقي

في أوائل القرن العشرين كانت مناطق التنقيب عن البترول هي التي تظهر فيها شواهد بترولية مثل البقع البتيومينية، وتسربات الغازات، وبعض الصخور الأسفلتية التي تكشفها عوامل التعرية. ثم بدأ الاعتماد على أجهزة قياس المغناطيسية الأرضية لتحديد الاختلافات الصغيرة أو الطفيفة في المجالات المغناطيسية للتراكيب الصخرية، حتى يمكن الاستدلال على بنية الطبقات ومعرفة نوعيات التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية، وإنشاء خطوط تساوى الأعماق تحت السطحية، وتحديد مناطق الطيات الصخرية المحدبة والمقعرة، وسمك بعض الطبقات الرسوبية فيها. وبتطور تكنولوجيات التنقيب عن البترول يجري حاليا قياس المغناطيسية الأرضية عن طريق المسح الجوي، الذي يتيح تغطية مساحات كبيرة، والوصول إلى مناطق صعبة طبوغرافيا، والتي لا يسهل استخدام طرق النقل الأخرى فيها.

الجيوفيزياء (Geophysics):

يختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه ويعتمد فى ذلك على استخدام قوانين و خواص فيزيائية طبيعية مثل الجاذبية الأرضية و المغناطيسية الأرضية و الإشعاع الطبيعي و التيارات الكهربائية الطبيعية التى تتولد فى الصخور نتيجة حركة السوائل فى مسامات الصخور المختلفة

و كذلك التيارات المتولدة نتيجة للشحنات المنتشرة فى الفضاء, كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية تسجيل الموجات الزلزالية الاهتزازية الناتجة عن الزلازل الطبيعية او الناتجة بفعل العوامل الاصطناعية مثل استخدام المتفجرات أو أجهزة توليد الاهتزازات الأرضية المختلفة.كما تشمل الطرق الجيوفيزيائية استخدام التقنية الرادارية و كذلك طرق تسجيلات الآبار.

يعتبر علم الجيوفيزياء – بطرقه المختلفة – من أهم علوم الأرض والتي تساعد في تحديد مكامن النفط والغاز والطبقات الحاملة للماء, وتحديد العروق المعدنية والخامات الاقتصادية, ودراسة التراكيب الجيولوجية المختلفة وفي مجال الدراسات الهندسية والدراسات البيئية. وقد ساهم التقدم الكبير الحاصل في طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية وتقنيات برامج التحليل في حل الكثير من المشاكل التي تواجه القطاعات المهتمة بالثروات الطبيعية سواء على مستوى القطاعات الحكومية أو القطاعات الخاصة أو حتى على مستوى الأفراد.

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العمليةلاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين.

وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل فيمعالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثرواتالبترولية والمعدنية .

ما هي الجيوفيزياء التطبيقية:

وتعني استخدام الطرق الجيوفيزيائية في تحديد هدف معين تحت سطح الأرض, مثل المياه الجوفية, والمعادن الاقتصادية, والأجسام المدفونة بأنواعها, والبترول والغاز ومعرفة التركيب الجيولوجي للطبقات التحت سطحية, وما تحتويه من كهوف أو صدوع أوفراغات و في مجال التطبيقات الهندسية.

وهذه الطرق تنقسم إلى الطرق الجاذبية والمغناطيسية والكهربية والكهرومغناطيسية والسيزمية والرادارية.

المسح الجيوفيزيائي:

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية،وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين. وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل فيمعالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثرواتالبترولية والمعدنية .

ويختص علم الجيوفيزياء بدراسة الخصائص الفيزيائية للطبقات الأرضية، ويهدف إلى تحديد المصائد والتراكيب بإجراء قياسات على السطح مباشرة أو بالقرب منه، وهناك عدة طرق جيوفيزيائية مستخدمة للتنقيب عن النفط :

أ- المسح الثقلي : ويستخدم في المراحل الأولى للاستكشاف، ويمكن بواسطته تكوين فكرة عن شكل وامتداد الحوض الرسوبي والاتجاهات البنيوية ومواقع الفوالق، وبناء على نتائجه يتم تحديد المناطق الأكثر أملاً، وتعتمد هذه الطريقة على قياس الجاذبية الأرضية التي تختلف من مكان لآخر تبعاً لكثافة الصخور والتركيب الجيولوجي للمنطقة.

ب-المسح المغناطيسي : ويعتمد على قياس مغناطيسية الأرض التي تعتمد على التغيرات المغناطيسية في مكونات القشرة الأرضية .

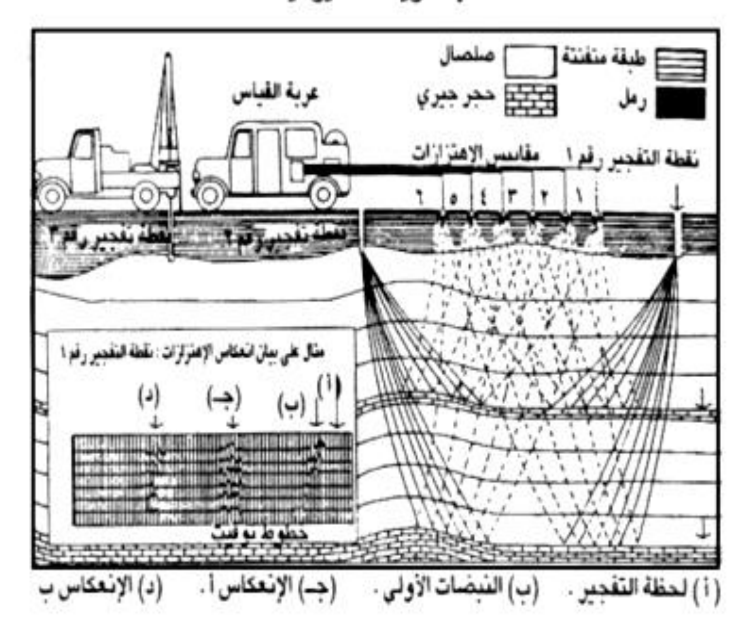
ج-المسح السيزمي (الاهتزازي) بنوعيه (الانكساري والانعكاسي): والذي يشكل 90% من الأعمال الجيوفيزيائية التي تنفذ بهدف التنقيب عن النفط، ويمر هذا العمل بعدة مراحل هي :

العمل الحقلي.

معالجة المعلومات .

تفسير المعطيات حيث يتم هنا تحويل المعلومات السيزمية الى معلومات جيولوجية، فيتم إنشاء خرائط زمنية لمنطقة المسح يتم تحويلها الى خرائط أعماق بعد إجراء قياسات للسرعة.

الشكل الرقم ١١



ثم الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارةعند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق السيزمية والجاذبية هي، أساسا، أدوات للبحث عن البترول، فإن الطرق الكهربية تستخدم، عادة، للكشف عن المعادن، وغير أن الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربية والمغناطيسية معاً في البحث عن البترول والمعادن .

أجهزة الاستكشاف الجيوفيزيائي:

المسح الجيوفيزيائي أحد أهم الطرق المستخدمة في الاستكشاف الجيولوجي والتنقيب عن الخامات المعدنية اعتماداً على الخصائص الفيزيائية للخامات أو الصخور الحاوية لها مثل قابليته اللتمغنط ، والتوصيل الكهربائي، والكثافة ، والإشعاع الطبيعي ، ودرجة الصلابة لتحديد مواقع تواجد الخامات، والتراكيب الجيولوجية ، وتكوين الطبقات تحت السطح لتحديد مكامن ترسب الثروات الطبيعية. وتسهم الدراسات الجيوفيزيائية في حل المشاكل الجيوتقنية، والهندسية ، وغيرها من المشاكل البيئية. ويمتلك المركز العديد من الأجهزة المختلفة التي تستعمل في إجراء الأنواع المختلفة من المسوحات الجيوفيزيائية منها على سبيل المثال :

أجهزة قياس إجمالي الكثافة المغناطيسية والمركبة العمودية والمركبة الأفقية وقابلية التمغنط

أجهزة قياس شدة الإشعاع الطبيعي الوميضي والطبقي وانبعاث إشعاع غاز الرادون.

أجهـزة المسـح الكهرومغناطيسي بـاستخـدام التردد المنخفـض جـداً (VLF) والتورام(Turam).

جهاز قياس الموجات الزلزاليةالانكسارية

جهاز قياس الجسات (السرود)

ويتطلب التنقيب عن البترول استثمارات مادية كبيرة، وخبرات تكنولوجية متطورة، وتمويلا مستمرا لخطط الاستكشاف، وتكامل عناصر تعدين البترول وصناعته، ونقله وتسويقه. وهدف التنقيب الواضح هو البحث عن مكامن تجمع البترول باستخدام مختلف أنواع المسح، والكشف جوياً وأرضياً وجوفياً، ويعتبر الرشح البترولي مؤشراً إيجابياً لتحديد أغلب مناطق التنقيب، إلى جانب البحث عن البـترول في مصائد بنائية معينة كالطيات المحدبة والقباب.

وباستكمال الدراسات الكيميائية للصخور، يمكن معرفة مدى احتوائها على المواد العضوية المولدة للبترول، وكذا تعرف مؤشرات وجود خزانات بترولية كبرى، مثل وجود صخور مسامية ترتفع بها نسبة الكربونات، وتتحلل موادها بسرعة تحت تأثير عوامل التجوية الكيميائية من رطوبة وجفاف وتجوية عضوية بصفة خاصة.

الجيولوجيا ـ إذاً ـ من خلال مشاهدات الصخور والآبار، والجيوفيزياء بطرقها العديدة تقدم اليوم وسائل عملية لدراسة تكوين باطن الأرض وتركيبه، ومع ذلك لا تستطيع جميع الدراسات الجيولوجية الجيوفيزيائية والجيوكيميائية أن تحدد بدقة مواقع تجمعات البترول والغاز مهما كانت شمولية تلك الدراسات، إذ لابد من الحفر، فهو العامل الحاسم في استكشاف البترول، ويرتبط النجاح فيه بالتحديد الدقيق لمواقع الآبار، وتقدير العمق المحتمل وجود البترول به في الطبقة أو الطبقات، وكفاءة برمجة الحفر ونظم معلوماته، للتعرف على الطبقات تحت السطحية في أثنائه وتقدير السمك والعمق لكل منهما.

المسح الجيولوجي الطبقي :

ويشمل المسح الجيولوجي الطبقي الأولى استخدام مقياس الجاذبية الأرضية Gravimeterلتعرف مواقع الصخور وكثافاتها، واستنتاج بعض المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للمكامن والمصائد البترولية .

المسح الجيوفيزيائي:

يعتبر المسح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن البترولية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحرية، والصحاري، والصحاري الجليدية القطبية، ومناطق البراكين.

وقد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضاء في الكشف عن الثروات البترولية والمعدنية .

وتشمل الطرق الجيوفيزيائية الشائعة الاستخدام المسح السيزمي الذي يسمى أحيانا بالزلزالي، والجاذبية، والمغناطيسية، والطرق الكهربية، ثم الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارة عند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق السيزمية والجاذبية هي،أساسا، أدوات للبحث عن البترول، فإن الطرق الكهربية تستخدم، عادة، للكشف عن المعادن، وغير أن الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربية والمغناطيسية معاً فيالبحث عن البترول والمعادن .

المسح السيزمي:

أداة عملية لتحديدالتكوين الجيولوجي تحت سطح الأرض، ويعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبةمن السطح، تنتج عنها صدمة آلية أو هزة أو موجة سيزمية، من نوع ريلي Rayleigh أو لف Love ، وهذه الموجة تعود إلى السطح بعد انعكاسها من الأوجه الفاصلة بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة، وتسجل الانعكاسات بأجهزة حساسة سريعة الاستجابة لحركة الأرضGeophones & Detectors ، توضع على أبعاد محددة من نقطة التفجير لتلقي الموجات الصوتية المنعكسة وقياس زمن ارتداد الموجة السيزمية

ومن المعروف أن سرعة الموجات الصوتية تعتمد على كثافة الصخور التيتمر بها. ويمكن حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها بقياس أزمنة الانعكاسومقارنتها، وتعرف الظواهر التركيبية في الطبقات السفلى، وبيئة الترسيب، ومن ثمإنتاج خرائط تركيبية لأي مستوى جيولوجي يعطي انعكاسات للموجات الصوتية، وتحديدأماكن الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية والشعب وخواصها .

ويجري المسح السيزمي أيضاً في البحار،باستبدال المتفجرات بشرارة كهربية ذات فولت عال، قد يصل إلى عشرة آلاف فولت، تفرغتحت الماء لإحداث نبض سمعي Acoustic Pulseعلى فترات قصيرة متتابعة لإجراء المسح السيزمي على أعماق بين 100، 400 متر .ويمكن إجراء هذا المسح على أعماق كبيرة قد تصل إلى 2- 2.5كم باستخدام قاذف صغيرلخليط متفجر من غازي البروبان والأكسجين يشعل بشرارة كهربية. وطريقة الانعكاسالسيزمي أنجح الطرق السيزمية المستخدمة في معرفة الطبقات القريبة من سطح الأرض،وتحديد الظواهر التركيبية التي يشتمل أنها مكامن بترولية، وبخاصة الطيات المحدبةوالفوالق والقباب الملحية وبعض البنيات الاختراقية الأخرى .

أما طريقة الانكسار السيزمي فتتيح تسجيلالإشارات السيزمية على مسافات كبيرة من نقطة التفجير، والحصول على معلومات عنالسرعات والأعماق الخاصة بالطبقات تحت السطحية التي تنتقل خلالها. واستخدمت في الماضي في تحديد جوانب قباب الملح قبيل استخدام الطريقة الانعكاسية.

ومع أن طريقة الانكسار لا تعطي معلومات دقيقة عن التراكيب الصخرية، وهي أقل استخداما في استكشاف البترول حاليا، إلا أنها مصدر جيد للمعلومات عن سرعة انتشار الموجات في طبقات الانكسار، وبالتالي التحديد التقريبي لمواقع وأعماق طبقات صخرية أو تكوينات جيولوجية معينة. ومن المعروف أن سرعة انتشار الموجات السيزمية تبلغ نحو 5500قدم/ثانية في الرواسب الفتاتية، وترتفع إلى أكثر من 23000 قدم/ ثانية في بعض الصخورالنارية، وبذلك يسهل تحديد عمق الحوض الرسوبي وشكله برسم خريطة صخور القاعدة التيتتراكم عليها الصخور الرسوبية .

التنقيب الزلزالي:

يعتبر المسح السيزمي من أهم تطبيقات علم الجيوفيزياء، لأنه يعطي صورة واضحة عن الطبقات الجيولوجية الواقعة تحت سطح الأرض وعن امتدادها واستمراريتها ووجود أية انحرافات أو انقطاعات فيها وذلك بهدف اختيار التركيب الأكثر ملاءمة واحتمالاً لتجمع المواد الهيدروكربونية. ويتم المسح الزلزالي باستخدام مصدر للطاقة لإرسال موجات صوتية إلى باطن الأرض وتعكس هذه الطبقات الجوفية تلك الموجات إلى السطح حيث يتم التقاطها بصورة إشارات كهربائية يجري تضخيمها ونقلها إلى مسجلات رقمية،

وبعدها تحفظ هذه البيانات على أشرطة مسح زلزالي بواسطة الكومبيوتر للحصول على مقطع زلزالي وبواسطة أساليب معالجة متقدمة في التقنية، يمكن بواسطتها الحصول على تصوير مجسم ذي بعدين اثنين أو ذي ثلاثة أبعاد لملامح الطبقة الجوفية من أجل استخدامه في تحديد ملامح التشكيلات والطبقات وخصائص الصخور التي تهم الجيولوجيين العاملين في قطاع النفط.

طريقة الجاذبية:

تعتمد طريقة البحث بالجاذبية - في حدودالأميال الأولى القليلة من سطح الأرض - على قياس التغييرات الصغيرة في جذب الصخورللأجسام والكتل فوق سطحها، إذ تختلف قوى الجذب من مكان لآخر طبقا لاختلاف كثافات الصخور تحت سطح الأرض، لأن الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتل الجاذبة، وعكسيا مع مربع المسافة إليها. وإذا كانت الطبقات الأعلى كثافة مقوسة إلى أعلى في تركيب مرتفع مثل الطية المحدبة فإن مجال الجاذبية الأرضية يكون فوق محور الطية أكبر منه على طول أجنابها، كما أن القبة الملحية، الأقل كثافة من الصخور التي اخترقتها، يمكن كشفها من القيمة الصغيرة للجاذبية المقاسة فوقها بالمقارنة بقيمة الجاذبية على أي من الجانبين. ولا بد لقياس التغير الطفيف في قيمة الجاذبية من مكان لآخر من أجهزة ذات حساسية عالية،

لدرجة أنها تسجل التغيرات في الجاذبية لجزء في المليون من عجلة الجاذبية الأرضية،وتسمى الجرافيمترات Gravimeters، وهي أداة رسم خريطة تغيرات الجاذبية في منطقة البحث عن البترول التي يمكن من خلالها ترجيح وجود تراكيب جيولوجية معينة مثل الفوالق والطيات، أو تداخل صخور القاعدة ذات الكثافة العالية في صخور رسوبية ذات كثافة أقل .

وبصفة عامة يستفاد من طريقة الجاذبية في تحديد الأحواض الرسوبية، وامتدادها وسمكها، باعتبار أن كثافة صخور القاعدة أعلى من كثافة الطبقات المترسبة فوقها، وكذا في تحديد أماكن القباب الملحية، وشعاب الحجرالجيري Limestone Reefs ، والطيات المحدبة ، ثم في تعيين الحدود الفاصلة بين الكتل الصخرية ذات الكثافات المختلفة. ومع ذلك يجب أن نسلم بأن الصخور الخازنة ليست متجانسة في خواصها مما يقتضي استخدام طرق أخرى للمسح الجيوفيزيائي لتكوين صورة متكاملة ودقيقة للخزان البترولي، تستكمل بالمسح السيزمي والحفر الاستكشافي. وقد استخدمت طريقة الجاذبية فيتحديد أماكن القباب الملحية في ساحل خليج المكسيك بالولايات المتحدة، وفي الكشف عن التراكيب المحدبة في وسط القارة الأمريكية التي تعد مكامن محتملة للسوائل الهيدروكربونية .

الطريقة المغناطيسية:

يستخدم المسح المغناطيسي لقياس التغير فيشدة المجال المغناطيسي للأرض من مكان لآخر،بسبب اختلاف التراكيب الجيولوجية، والتغيرات الطبوغرافية لأسطح صخور القاعدة، والتأثيرية المغناطيسيةMagnetic Susceptibility لهذه الصخور، أو الصخورالنارية أو المتحولة التي تحتوي في العادة على نسب أعلى من معدن المجنتيت Magnetiteذي الخواص المغناطيسية، أوالصخور القريبة من سطح الأرض. وتستخدم المغناطومترات Magnetometers في المسح المغناطيسي على الأرض، ومن الطائرة أو السفن وبخاصة لتحديد سمك الطبقات الرسوبية الخازنة للبترول، أو المعادن المغناطيسية .

وحديثاً تستخدم الأقمار الصناعية في رسم الخرائط الكنتورية للتغيرات في شدة المجال المغناطيسي لتحديد التراكيب الجيولوجية في مناطق المسح المغناطيسي، وبخاصة أماكن الطيات والصدوع في القشرة الأرضية المرجح وجود تجمعات البترول بها، وحساب أعماق صخور القاعدة بما يساعد في تقدير سمك وامتداد الطبقات الرسوبية وامتدادها، وكذا تعرف تداخلات الصخور النارية بين هذه الطبقات الرسوبية. وقد ساعدت الطريقة المغناطيسية على اكتشاف حقول بترولية عديدة في المملكة العربية السعودية،

ومنها حقول الحوطة والدلم عام 1989م، والرغيب والنعيم والحلوة والهزمية والغينة في المنطقة الوسطى عام 1990م، ثم حقل مدين على الساحل الشمالي للبحر الأحمر عام 1993م .

الطريقة الكهربية:

تعتمد هذه الطريقة على اختلاف قياسات المقاومة النوعية الكهربية بين شتى أنواع الصخور، وبخاصة بين الملح والرسوبيات،ويسهل باستخدامها تحديد عمق صخور القاعدة بفضل ارتفاع قيم المقاومة النوعية لها .وإذا كانت التباينات في الخواص الكهربية للصخور الرسوبية محدودة، فإن الصخورالجيرية الكتلية والأنهيدريت تتميز بمقاوماتها النوعية العالية. كذلك تستخدم طريقة الجهد الذاتي لإجراء قياسات على السطح بالميللي فولت للجهود الكهروكيميائية الناشئة في الأرض بالتفاعل الكيميائي الكهربي بين بعض المعادن والمحاليل ذات الخصائص الكهربية المتلامسة معها .

الحفر الاستكشافي Exploratory Drilling :

يلي المسح الجيوفيزيائي والدراسات الجيوكيميائية التي تقود إلى تحديد أنسب الأماكن التي يرجحأن تكون حقولا منتجة، ويبدأ بحفر أولي الآبار الاستطلاعية التي تسمى بئر القطةالبرية Wild Cat Well، طبقا لتقدير علمي دقيق لموقع الحفر والأعماق المطلوب الوصول إليها، وأنواع الأجهزة التي تستخدم في تجويف البئر، ثم تسجل النتائج في وثيقة التسجيل البئريWell Logging،

والتي تشمل تحديد أنواع وسمك الطبقات وسمكها، وتقديرأعمار الصخور طبقا للحفريات الموجودة في كل طبقة إلى جانب قياسات المقاومة الكهربية والنشاط الإشعاعي وانتشار الموجات الصوتية، والكثافة، وتستكمل بالصفات الطبيعية مثل المسامية والنفاذية، والخصائص الكيميائية. وتتم متابعة تحليل العينات الجوفية أولا بأول خلال حفر البئر الاستكشافي بهدف معرفة وتحديد تتابع الطبقات للصخور الرسوبية في الحقول البترولية المنتظرة .

وعادة تحفر البئر الاستكشافية الأولى على قمة التركيب الجيولوجي المراد استكشافه، أو على الموقع المقدر نظريا أن يحقق أكبرإنتاج ممكن. ويراعى ما أمكن ذلك أن يكون تجويف البئر رأسيا، واختبار زاوية ميله كلما تعمق الحفر لإجراء التصحيحات المطلوبة عند الضرورة. ومع أن حفر البئر الأولي يعطي الدليل على وجود البترول، وتركيب المكمن البترولي، وأعماق الطبقات الحاوية للزيت من سطح الأرض وخواصها، إلا أن تحديد الحقل البترولي، وحساب كميات البترول المنتظر إنتاجها، وتقدير الاحتياطي المرجح من البترول في الحقل يتطلب حفر آباراستكشافية أخرى حول البئر الأولي. ويجري في حالات عديدة حفر "الآبار القاعية "العميقة في الأماكن الملائمة لتجمع الزيت أو الغاز، لدراسة التركيب الجيولوجيوالظروف الهيدرولوجية لتكوين الطبقات الرسوبية، وكذا "الآبار البارامترية" لتدقيق المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للصخور في منطقة البحوث الاستكشافية .

طريقة تسجيل الآبار Well Logging :

هي طريقة واسعة الاستخدام قبل حفر آبار البترول وفي أثناء الحفر وبعه، لتحديد الخواص الفيزيائية المختلفة للطبقات تحت سطح الأرض، من خلال إنزال أجهزة قياس متنوعة في الآبار لتحديد المقاومة النوعية الكهربية، والجهد الذاتي والتأثيرية، والسرعة الصوتية، والكثافة، والخواص المغناطيسية، وإطلاق أشعة وفوتونات جاما الطبيعية، أو توليد أشعة جاما استجابة لقذف النيوترونات .

والتسجيلات الكهربية تتيح قياس المقاومة النوعية للصخور، ورسم الحدود بين الطبقات، وتحديد مناطق تدفق السوائل ودراسة المياه الجوفية وتحديد ملوحتها، وبذلك يسهل تعيين الطبقات المنفذة للسوائل والأسطح والحواف التي تحدها. والطرق الكهرومغناطيسية تكشف اختلاف الخواص التأثيرية للصخور تحت سطح الأرض .

وقد استخدمت طرق المقاومة النوعية والكهرومغناطيسية الأرضية في روسيا لإعداد خرائط الطبقات الرسوبية في مراحل الاستكشاف البترولي المبكرة، وفي فرنسا استخدمت الطرق الكهربية في البحث عن المعادن الصلبة، وتتبع الطاقة الحرارية الأرضية، أما تسجيل النشاط الإشعاعي الطبيعي للصخور فيجري باستخدام أجهزة كشف إشعاعي متنوعة على الأرض، وفي الآبار، ومن خلال المسح الجوي الإشعاعي.

كذلك يستخدم مصدر لإشعاع النيوترونات، مثل خليط من البريليوم والراديوم، ويستقبل الإشعاع المنطلق من الصخور، وقياس درجة امتصاص النيوترونات بواسطة أيونات الهيدروجين الموجودة في البترول أو الماء أوالغاز .

وتفيد دراسة النشاط الإشعاعي للصخور في تعرف التراكيب الصخرية، ومـدى احتوائها على سوائل، وأنواع تلك السوائل، ووجود الغازات الطبيعية، ومسامية الصخور، كما تستخدم أشعة جاما في الكشف عن الطفلة الحجرية الزيتية .Oil Shales كذلك فإن المسح الإشعاعي من أفضل طرق تعيين وتقويم رواسب المعادن المشعة تحت سطح الأرض، سواء التي تحتوي على اليورانيوم أو الثوريوم .

وتجري تسجيلات الانتشار الصوتي لقياس سرعة سريان الموجات الصوتية في كل طبقة من الطبقات الصخرية على حدة، وتحديد الاختلاف بينها في المقاومة الصوتية Acoustic Impedance، ما يساعد في معرفة مسامية الصخور تحت السطحية .

س/ كيف يستطيع الجيولوجيون استكشاف باطن الأرض والتغلغلفي أعماقها..؟

وكيف يستطيعون التعرف على مكامن النفط والخامات المعدنية ..؟

في هذا الموضع سنتعرف على أحد فروع علوم الأرض والذي يختص بطرق استكشاف باطن الأرض والاستكشاف الجيوفيزيائي..

في الواقع يوجد لدينا أربعة طرق جيوفيزيائية لاستكشاف باطن الأرض وهي ..

الطريقة السيزمية Seismic

الطريقةالكهربائية Resistivity

الطريقة التثاقلية Gravity

الطريقةالمغناطيسية. Magnetics

أولاً : الطريقة السيزمية :

وهي التي تعتمد على دراسة الموجات السيزميةوتنقسم إلى قسمين:

1-انكسارية: Refraction Seismology وهذه الطريقة تعتمد على دراسة زمن أولى الموجات وصولاًوربطها بالمسافات بين المستقبلات التي تستقبلها ، أما بقية البيانات فلا نحتاجإليها في الطريقة الانكسارية ، من هذه الطريقة أستطيع التعرف على التغير في الصخورمع العمق ، كما أستطيع معرفة سرعة الموجات خلال مرورها بالأوساط المختلفة حيث تعتمدعلى معاملات المرونة elastic parameters لهذه الأوساط.

2- انعكاسية: Reflection Seismology وهذه تعتمد على تحليل الطاقة التي تصل بعد الحركة الأرضيةالأولى وبصفة عامة فهذا التحليل يركز على دراسة الموجات المنعكسة ، يشبه الأمردراسة الموجات الصوتية المنعكسة في أجهزة السونار.

أيضاً هذه الطريقة تعطينا معلومات عن نفس الطبقة الصخرية التي تمر بها في حين ان الطريقة الانكسارية تعطينا معلومات عن الحدود الفاصلة بين الطبقات ومعاملات المرونة للطبقات .

وللطريقة السيزمة عيوب ومميزات مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى أيضاً نفس الطريقتين السيزميتين بهما مميزات وعيوب مقارنة مع بعضها البعض.

مميزات الطريقة السيزمية وعيوبها مقارنة بالطريق الجيوفيزيائية الأخرى.

من مميزات هذه الطريقة :

أنها تعطينا تصورعما هو موجود تحت سطح الأرض وبذلك نستطيع من خلالها تحديد العمود الطباقي للمنطقة

ولكونها تعتمد على انتشار الموجات في الصخور وحيث أن انتشار هذه الموجات يعتمد على معاملات المرونة للصخر فإننا نستطيع ومن حيث المبدأ تحديد هذه المعاملات .

وأيضا نستطيع الكشف عن الهيدوركربونات بواسطة هذه الطريقة.

ومن مساويء هذه الطريقة :

أنها مكلفة جداً مقارنة بالطرق الجيوفيزيائية الأخرى

يتطلب تحليل البيانات المستخلصة بهذه الطريقة وقتاً طويلاً بالإضافة إلى حاجة المحللين إلى أجهزة حاسوبية متطورة تكلف مبالغ طائلة

أيضاً الأجهزالمستخدمة في تجميع البيانات مكلفة جداً وأغلى من الأجهزة المستخدمة في طريق الجوفيزيائية الأخرى

مقارنة سريعة بين الطريقتين السيزمية :الانعكاسية والانكسارية

من مميزات الطريقة الانكسارية:

أننا نحتاج لأقل عدد ممكن من المصادر والمستقبلات ولذلك فهي رخيصة نسبياً في جمع البيانات فيحين أن الطريقة الانعكاسية تحتاج لعدد أكبر من المصادر والمستقبلات لذلك فإن جمع البيانات بواسطة هذه الطرقة مكلف جداً .

وعند تحليل البيانات فإن تحليل البيانات الانكسارية أسهل من تحليل البيانات الانعكاسية حيث أننا نعتمد في تحليل البيانات الانكسارية على زمن وصول أول موجة في حين أن تحليل البيانات الانعكاسية يعتمد على الجزء المتبقي من الطاقة كما انها تحتاج إلى أجهزة حاسوبية متطورة وعدد كبير من الخبراء لذلك فهي تكلف الكثير (عالية التكلفة)

أما عن مساويء الطريقة الانكسارية

يجب أن تكون المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة بعض الشيءحتى نتمكن من استقبال البيانات .. في حين أننا لانحتاج هذه المسافة عندما نجمع البيانات بواسطة الطريقة الانعكاسية .

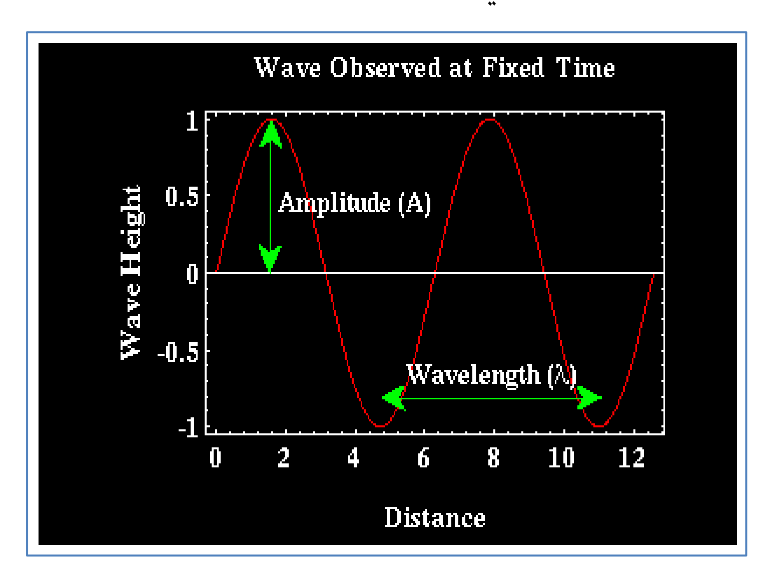
أنها لا تعمل إلا إذا كانت السرعة تزداد مع العمق .. في حين أن الطريقة الانعكاسية تعمل في جميع الأحوال.

ونلاحظ أيضاً أن الطريقة الانكسارية تترجم لنا ماهية الطبقات الموجودة في الأسفل هذه الطبقات من الممكن أن تكون عميقة جداً وغيرمستوية .. في حين أن البيانات الانعكاسية يمكن أن تكون مترجمة بسهولة أكثر من ناحيةعلم الطبقات ..

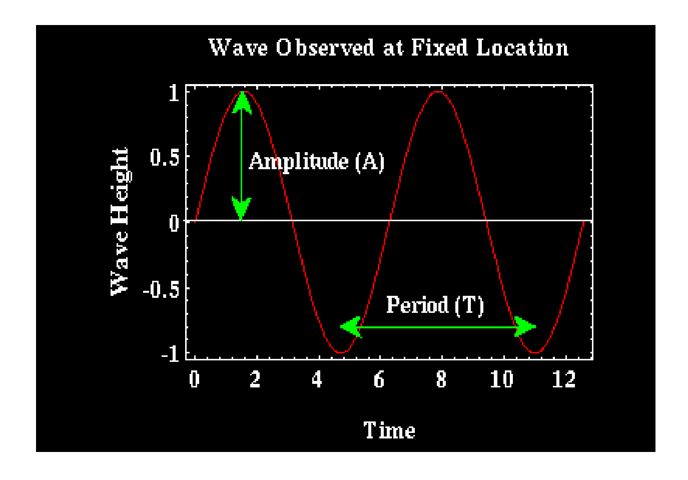
ماذا يحدث لو قذفنا بحجر صغير في وسط بحيرة ..؟

ستبدأ الموجات بالانتشار على سطح البحيرة على شكل حلقات...

لو أخذنا مقطع عرضي لهذه الحلقات وأوقفنا الزمن بالنسبة لها فأسمي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين بالطول الموجي wavelength وتعرف المسافة بين خط انتشار الموجة وحتي قمة الموجة أو قاعها بسعة الموجة (لاحظ الشكل التالي)



أما لو قمنا بتثبيت الموقع بالنسبة لحركة الموجات على سطح البحيرة فستعبر المسافة بين القمتين المتتاليتين أو القاعين المتتاليين عنالزمن الدوري.



وهناك علاقة بين سرعة هذه الموجات وطولها الموجي والزمن الدوري لها حيث أن:

$C=\lambda\backslash T$ حيث أن

C = السرعة

λ = الطول الموجي

T= الزمن الدوري

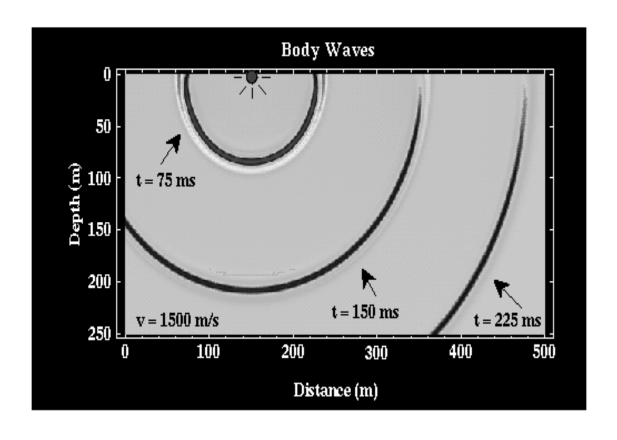
وأيضاً هناك علاقة بين التردد f والزمن الدوري T حيث أن التردد يساوي مقلوب الزمن الدوري و وحدته 1\ثانية أو هيرتز Hertz (Hz)

أنواع الموجات السيزمية :

تنقسم الموجات السيزمية إلى قسمين وهي :

الموجات الجسمية : Body Waves وهذه هي الموجات التي تسري في باطن الأرض .

نحن نعلم أن الموجات تنطلق بسرعة ثابتة مالم تتغيرمعاملات المرونة للوسط الذي تسري فيه كما أنها تنتشر في جميع الاتجاهات بعيداً عن المصدر .. من ذلك نستنتج أن الموجات السيزمية وعند أي لحظة تعطي شكلاً كروياً عند انتشارها في وسط متجانس homogeneous

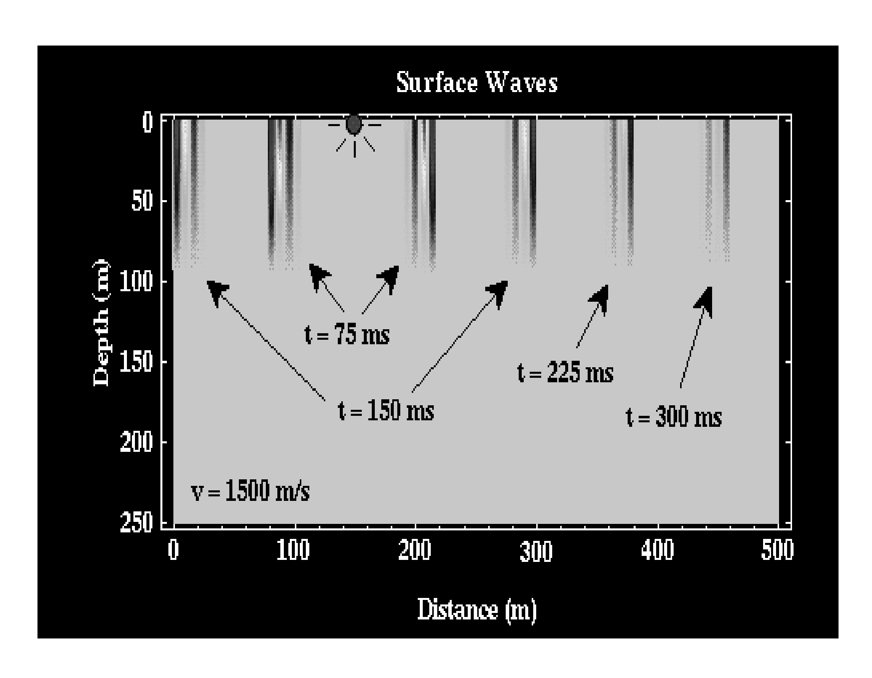


وتنقسم الـ Body waves إلى نوعين:

الموجات الأولية : primary waves وتعرف باسم P Waves وسميت بهذا الاسم لأنها لكونها الأسرعولذلك فهي أولى الموجات وصولاً ، ويعود سبب سرعتها إلى أنها تسلك سلوكاً بسيطاً حيث تتحرك فيها الجزيئات في نفس خط انتشار الموجة وتشبه هذه الموجات الموجات الصوتيةحيث أنها تنتشر في الهواء وفي الماء أيضاً

الموجات الثانوية : secondary waves وتعرف باسم SWaves وهي أبطأ من الموجات الأولية حيث تتحرك فيها الجزيئاتعمودياً على خط انتشار الموجة ولا تنتشر إلا في الأوساط الصلبة فقط .

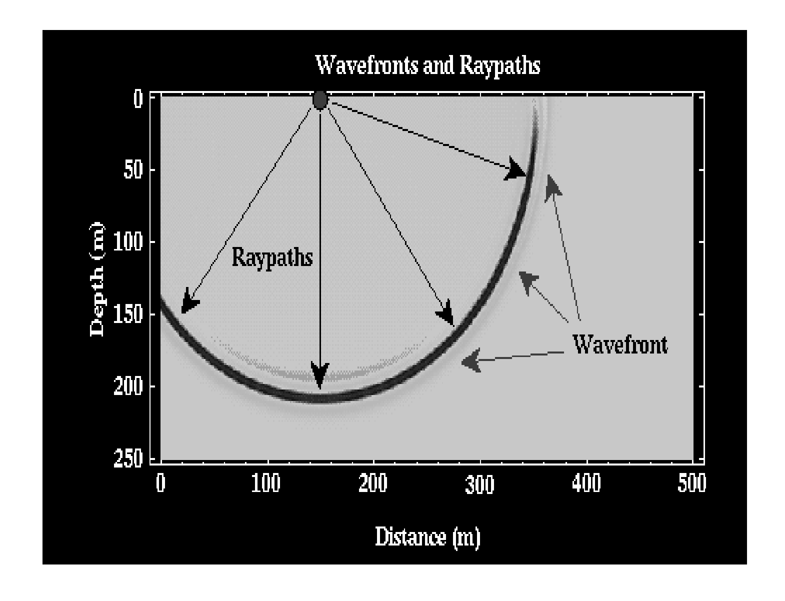
الموجات السطحية Surface waves: وهي الموجات التي تسري على سطح الأرض فقط .. ولو نلاحظ أن سعة الموجةamplitudes للموجات السطح يكون كبير جداً على السطح ويصغر كلما اتجهنا إلى العمق لذلك فإن هذه الموجات تضمحل أسياً مع العمق .. أيضاً تضمحل هذه الموجات كلما ابتعدنا عن المصدر .. وتعتبر هذه الموجات أقل سرعة من الموجات الثانوية ونستطيع التقليل من هذه الموجات بدفن المصادر في الأرض .. وتوضح الصورة التالية مقطع عرضي لانتشار الموجات السطحية



وكما هو الحال مع الموجات الجسمية فإننا نستطيع تصنيف الموجات السطحية إلى نوعين هما : موجات رالي Rayleigh waves وموجات لوف Love waves ويختلفان عن بعضهما في طريقة حركة الجزيئات... ولسنا هنا لتفصيل الاختلاف بينهماالمهم في الأمر أن هذه الموجات تعتبر مصدر تشويش وإزعاج على الاستكشاف السيزمي لذلكفهي غير مرغوب فيها وكما ذكرنا سابقاً فإننا نستطيع التقليل منها بدفن المصادر في الأرض

مسار الموجة و جهة الموجة Wavefronts and Raypaths

هذان المصطلحان يعبران عن عنصرين مهمين في عالم السيزمية حيث أن أي تغير في سلوكهما يدل على حدوث أمر ما أو تغير في الوسط الذي تنتقل فيه الموجات وتستطيعون مشاهدتهما من خلال الصورة التالية :



أولاً :Raypaths وهي عبارة عن عدد لانهائي من الخطوط الوهمية التي تمثل انتشار الموجات خلال الوسط وفي الصورة التيبالأعلى استخدمنا عدد بسيط من هذه الخطوط التي يمكن استخدامها جميعها .

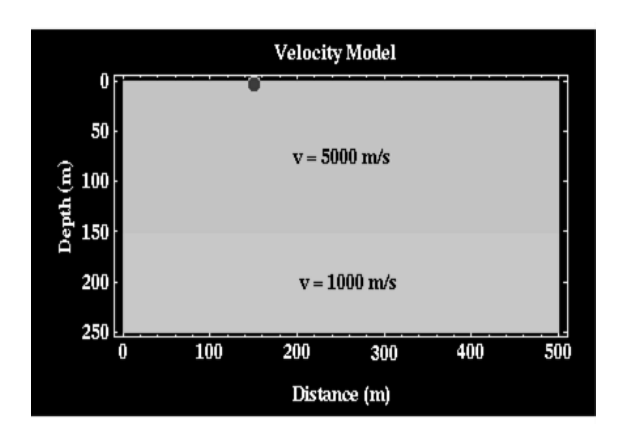
ثانياً :Wavefront

وهو الخط الذي يصل بين نقاط الموجاتالتي لها نفس السلوك وعند زمن محدد ... وفي الصورة التي بالأعلى نلاحظ أن الـ Wavefront اتخذ الشكل الكروي أو الدائري...ونلاحظ أيضاً أن خطوط ال Raypaths تكون عمودية على خط الـWavefront في هذه المثال نلاحظ مدى بساطة ال Raypaths حيث أنه ينتشر في وسط متجانس ,,,

لكن ماذا سيحدث لهذا ال Raypaths لو بدأنا بتطبيقه على النماذج الأرضية المعقدة حيث تختلف الأوساط وسرعاتها ..؟

عرفنا كيف تتصرف الـ Raypaths إذا كانت الموجات تسري في وسط متجانس موحد السرعة...لكن ماذا سيحدث لخطوط الـRaypaths إذا أصبحت الموجات تسري ضمن الطبقات الأرضية باختلاف سرعاتها.

لاحظوا النموذج التالي:



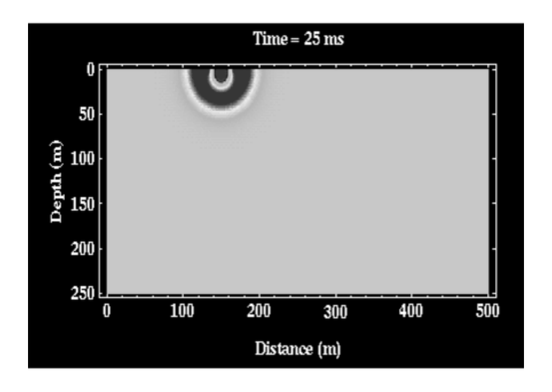
في هذا النموذج يتوضح لنا طبقتين صخريتين سرعة الطبقة الأولى 5000متر\ثانية وسمكها 150 متر وسرعة الطبقة الثانية 1000 متر \ ثانية وسمكها 100 متر .

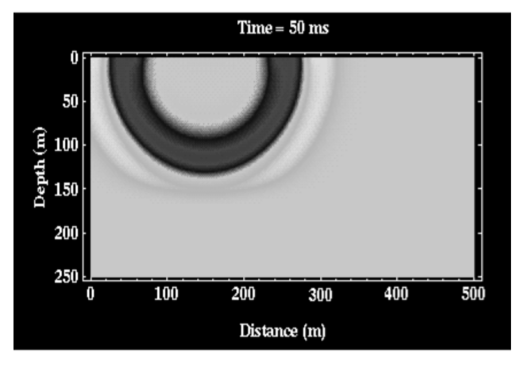
فكيف ستتصرف خطوط الـ Raypaths عند سريان الموجات خلال هذه الطبقتين.. ؟

فتابعونا وكونوا معنا فهذا ماسنعرفه في هذا الرد.

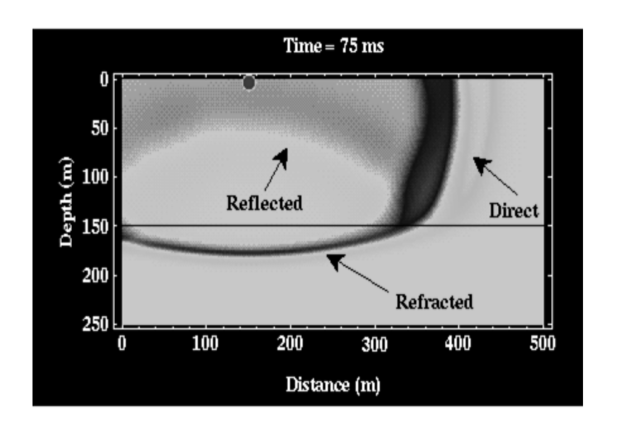
عند انطلاق الموجات من المصدر(النقطة الحمراء) وانتشارها خلال الطبقة الأولى ستسلك خطوط الـ Raypaths نفس السلوك الذي سلكته في السابق

حيث أنها لا زالت تسري في وسط متجانس ,,, دعونا نرى كيف ستتصرف الموجات بعد مرور 25 ملي ثانية من انطلاقها من المصدر وبعد مرور 50 ملي ثانية وبعد مرور 75 ملي ثانية..





الآن بدأ الموجات في الوصول إلى الحد الفاصل بين الطبقتين على عمق 150مترللاحظ ما سيحدث .



أو بعد مرور 75 ملي ثانية بدأت الموجات بالتفاعل مع السطح

الفاصل بين الطبقتين لكن ما نتيجة هذا التفاعل ..؟

جزء من الموجات استطاع اختراق السطح الفاصل منكسراً وهذا هو الجزء المستخدم في الدراسات الانكسارية ،وجزءَ آخر انعكس مرتداً عن السطح الفاصل وهذا هو الجزء المستخدم في الدراسات الانعكاسية والجزء الثالث استمر في سريانه خلال الطبقة الأولى دون أن يتفاعل مع السطح الفاصل بين الطبقتين ويعرف باسم الموجات المباشرة direct wave ..

ومما سبق نلاحظ التالي :

أن نصف قطر الـ Wavefront قد تغير عند وصولالموجات إلى الحد الفاصل بين الطبقتين .

أن الطول الموجي لأولى الموجاتالمنكسر أقصر من الطول الموجي للموجات المباشرة.

لكن كيف عرفنا أن الطول الموجي قد تغير مع العمق وأصبح الطول الموجي للموجات المنكسرة أقصر من الطول الموجي للموجات المباشرة حتى نجيب على هذا التساؤل يجب علينا أن نعود ونسترجع العلاقة بين الطول الموجي والزمن الدوري وسرعة الموجات.

فقلنا أن :

$C=\lambda\backslash T$ حيث أن C = السرعة λ = الطول الموجي

T = الزمن الدوري

فإذا قمنا بتثبيت الزمن الدوري فإنهومن المؤكد ومع انخفاض لسرعة فإن الطول الموجي للموجة سوف يقصر .

الأمرالآخر هو تغير نصف قطر الـ Wavefront فهذا التغير يدل على وجود تغير في اتجاه خطوط الـ Raypaths ويصف لنا قانون سنل. Snell'sLaw.

كيف وصف قانون سنل تغيراتجاه انتشار الموجات ...؟ ذكرنا أن القانون الذي يصف لنا تغير اتجاه خطوط الـ Raypaths هو قانون سنل.Snell'sLaw

فما هو هذا القانون ..؟

يوضح لنا قانون سنل العلاقة بين سرعات الموجات وزوايا سقوطها وانكسارها .

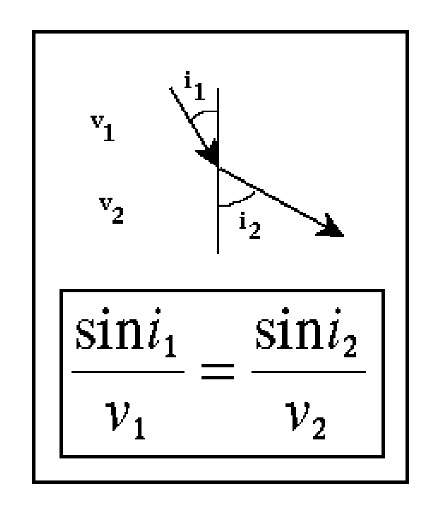
في العادة تميل خطوط الـ Raypaths إلى الانتشار في خطوط مستقيمة مادامت تسري في وسط متجانس

لكن لو بدأت هذه الخطوط في التفاعل مع الحدود الفاصلة بين الطبقات فإنها ستبدأ بتغييراتجاه مساراتها حسب قانون سنل .

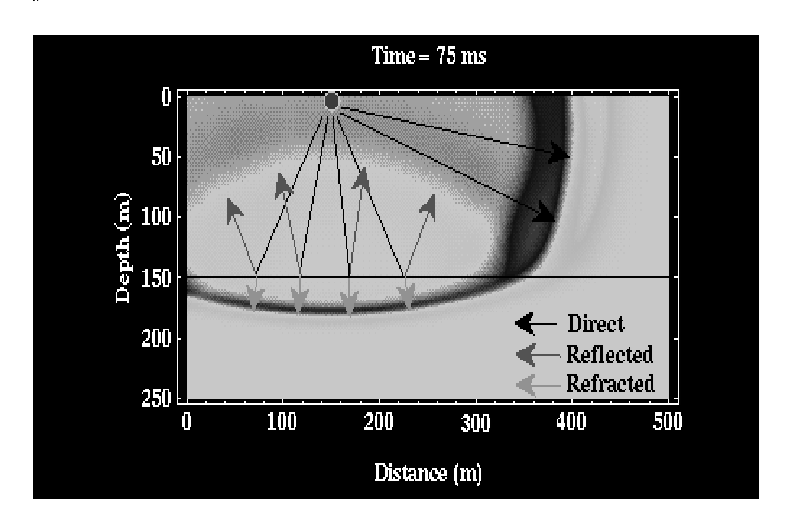
ويصف قانون سنل الطريق الذي تسلكه خطوط الـ Raypathsعند نقطتين ثابتتين وهي نقطة سقوط الموجات على السطح الفاصل ثمنقطة انكسارها بعد عبورها الوسط الفاصل .

في حالتنا هذه والتي ذكرناها في الرد السابق تسير خطوط الـRaypaths في وسط عالي السرعة V1 منتقلة إلى وسط منخفض السرعةV2 ، الزاوية بين العمودي على الحد الفاصل للطبقة وشعاعالـ Raypaths الساقط هي زاوية السقوط i1 والزاوية بين العمودي على الحد الفاصل بين الطبقتين وشعاع الـ Raypaths المنكسر هي زاوية الانكسار i2 .

وهذا هو نص الرياضي للقانون سنل والذي يربط بين المعاملات السابقة ...



في المثال الموجود لدينا وبما أن السرعة تقل مع العمق فإن زوايا السقوط عادة تكون أكبر من زوايا الانكسار وهذا ما وضحه لنا خط الـ Wavefront كما في الصورة التالية



حيث أن تقوس الـ Wavefront في الطبقة الأولى أكبر من تقوسهفي الطبقة الثانية ، ولكن ماذا سيحدث لو كانت السرعة تزداد مع العمق ($V2 > V1$) كما سيأتي معنا لاحقاً .. ؟ يتوقع قانون سنل أن تكون زوايا السقوط أصغر من زواياالانكسار حيث يظهر تقوسالـ Wavefront في الطبقة الثانية أكبر من تقوسه في الطبقةالأولى .

أيضاً يستطيع قانون سنل أن يتوقع لنا قيم زوايا الانعكاس وذلك بوضع$V2=V1$ حيث أن شعاع الـ Raypaths سيكون في نفس الطبقة في هذه الحالة ستكون قيمة زاوية السقوط مساوية لقيمة زاوية الانعكاس وهذا ما وضحه لنا خط الـ Wavefront في الصورة التي بالأعلى.

ملاحظة أخيرة : توضح الصورة السابقة خطوطالموجات المنكسرة والمنعكسة والمباشرة وجميعها موجات جسمية Body waves ، ولو كنا نضع المستقبلات على سطح الأرض فإننا سنستقبل فقط الموجات المنعكسة والمباشرة أما الموجات المنكسرة فإنها قد تغلغلت في العمق ولن نستطيع استقبالها على السطح .. لهذاالسبب ذكرنا سابقاً أن الطريقة الإنكسارية لا تعمل إذا كانت السرعة تقل مع العمق .

ومما سبق عرفنا كيف أن قانون سنل هو الذي يفسر لنا كيف تغير خطوط الـ Raypathsاتجاهها وذلك بربط السرعات مع الزوايا .

لكن ما الذي يتحكم في سرعة انتشار الموجات عبر الأوساط المختلفة ,,؟

في الرد السابق لاحظنا كيف أن الموجات تنتشر بسرعات مختلفة في باطن الأرض ومن خلال الطبقات .

ونحن على السطح نقوم باستقبال هذه الموجات بسرعاتها المختلفة كما استقبلنا الموجات المنعكسة في الرد السابق.

لذلك وجب علينا أن نعرف ما علاقة سرعة الموجات بالمعاملات الفيزيائية للصخور والتربة التي تمر من خلالها لأننا أولاً وأخير سنستفيد من هذه الموجات في معرفة ما تحت سطح الأرض لو افترضنا أنه يوجد لدينا وسط متجانس homogeneous, isotropicفإن سرعة الموجات الأوليةP wave والموجات الثانويةS wave ستعطى بالعلاقات التالية:

$$V_p = \sqrt{\frac{(\frac{4}{3}\mu + k)}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

حيث أن:

: Vpسرعة الموجات الأولية : Vsسرعة الموجات الثانوية

ρكثافة الوسط : density of the medium

μمعامل القص : Shear Modulus

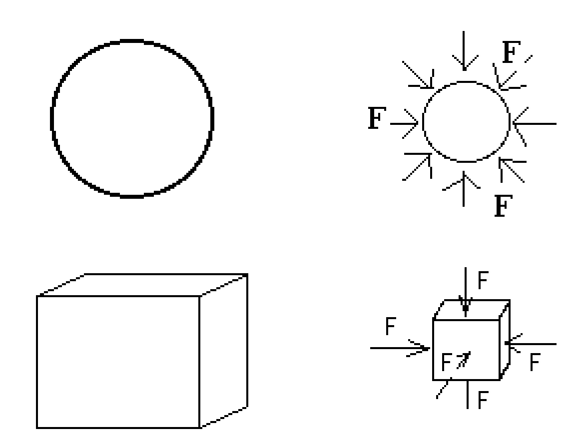
Kالمعامل الحجمي : Bulk Modulus

ويعرف كلاً من معامل القص والمعامل الحجمي باسم معاملات المرونة elastic parametersفما هي هذه المعاملات ..؟ والتي كما لاحظنا من القانون السابق أن لها دور كبير في التحكم بسرعة الموجات .

أولاً : معامل الحجم : Bulk Modulus والذي يعرف أيضاً باسم

the incompressability of the medium ...

تخيل أنه يوجد بين يديك مكعب منمادة ما .. وقمت بالضغط على هذا المكعب وأثرت عليه بقوى من جميع الجهات .. كما في الشكل التالي :



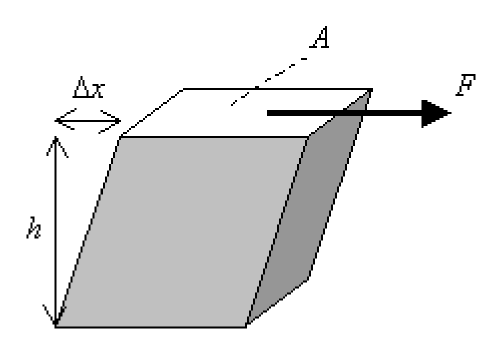
فإذا انضغط المكعب بكل سهولة وتغير حجمه فإن المعامل الحجمي له صغير مقارنة بمكعب صلب لا ينضغط بسهولة حيث يكون المعامل الحجمي له كبير ..

مثال : المعامل الحجمي للغازات صغير جداً أما المعامل الحجمي للمواد الصلبة كبير جداًحيث أننا وسهولة يمكننا أن نضغط مكعب من الغاز إلا أنه ومن الصعوبة من المكان أن تضغط على مكعب من الخشب وتصغر من حجمه .

ثانياً : معامل القص Shear Modulus

ويصف هذا المعامل مدى صعوبة تشويه المادة تحت تأثير قوة قصية.

مثال : أحضر مكعباً من مادة ما وليكن من الخشب مثلاً وضعه على سطح طاولة ما وقم بتثبيته عليها .. ثم أثر على السطح العلوي للمكعب بقوة اتجاهها موازٍ لسطح الطاولة ، عندها سيتشوه المكعب ويظهر على شكل متوازي أضلاع كما في الشكل التالي:



معامل القص يدل على مقدار القوة التي استعملتها لتشويه المكعب فلو كانت القوة كبيرة فإن معامل القص للمكعب كبير جداً وإذا كانت القوة بسيطة فإن معامل الفص صغير جداً .

لاحظ أن معامل القص لا يدعم الموادالسائل والغازية حيث انه من المستحيل التأثير عليها بقوة قص .

وبملاحظتنا للقانون الموضح في الأعلى فإن الموجات الثانويةلا تسري في الأوساط السائلة والغازية لأن قيم معاملات القص لها تساوي صفر وسرعة الموجات الثانوية تعتمد على معاملات القص فقط.

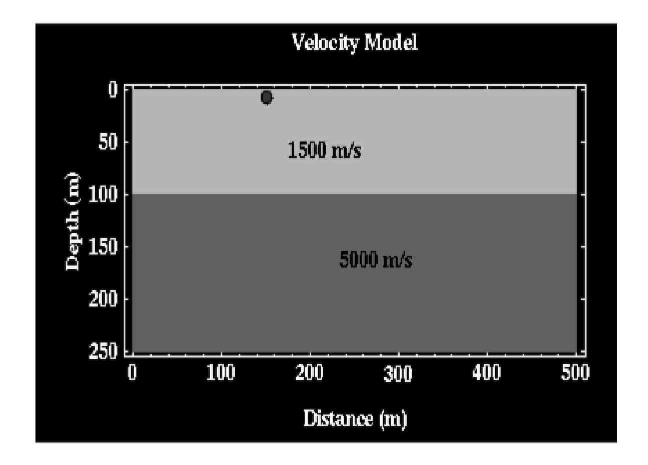
ومما سبق نعلم أن أي تغير في قيم المعاملات الفيزيائية للوسط (معامل القص، المعامل الحجمي، والكثافة) يؤدي إلى تغير سرعة الموجات المارة في الوسط..

مثال : لو انتقلت الموجات من طبقة رملية غير مشبعة إلى طبقة أخرى مشبعة فإنه وبكل تأكيد ستتغير سرعة الموجات نتيجة لهذا الانتقال .. ويتحكم في ذلك كثافة الطبقة والمعاملات الحجمية لها .. حيث أن المسامات التي كانت مملوءة بالهواء أصبحت مملوءة بالماء ولو نلاحظ أن قيمة المعامل الحجمي للماء أكبر من قيمة المعامل الحجمي للهواء .. وفي الواقع أن المعامل الحجمي هو العامل المتحكم في هذاالمثال لذلك نجد أن التغير في سرعة الموجات الأولية يكون أكبر من التغير في سرعةالموجات الثانوية .

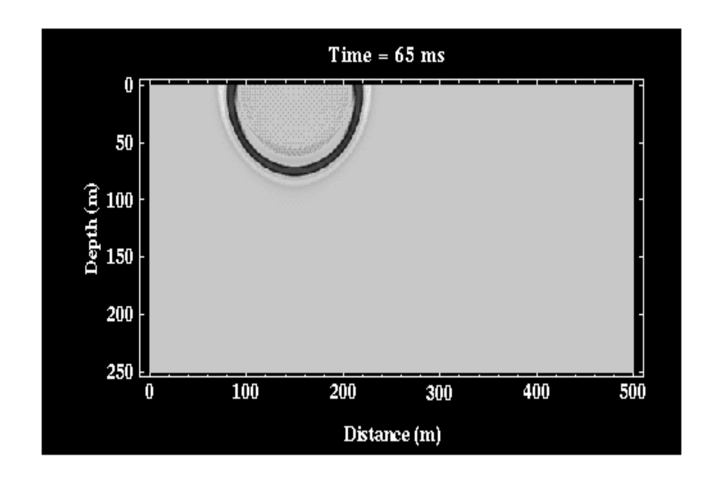
خلال دراستنا السابقة كانت لدينا مجموعة من الأمثلة عن انتشار الموجات من المصدر إلى باطن الأرض حيث تكون الطبقات التي في الأعلى عالية السرعة في حين أن الطبقات التي في الأسفل منخفضة السرعة.

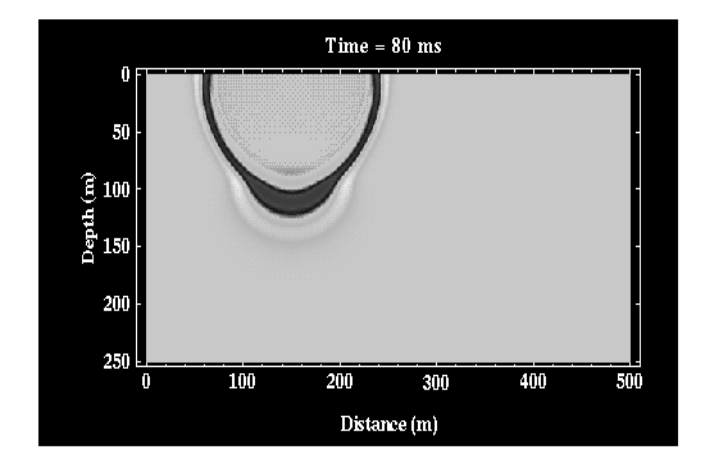
وفي هذه الحالة كنا نستقبل على سطح الأرض الموجات المباشرة والمنعكسة فقطفي حين أن التجربة كان يتولد عنها موجات منعكسة ومنكسرة ومباشرة.

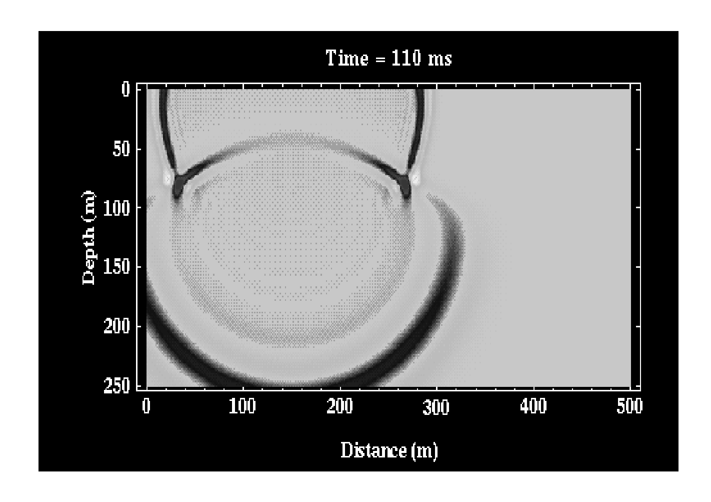
إذن ماذا سيحدث لو كانت الطبقات المنخفضة السرعة في الأعلى والطبقات العالية السرعة في الأسفل .. ؟ (كما في الصورة التالية) :



سنستعرض فيما يلي كيفية تصرف الموجات والسلوك الذي ستسلكه بعد 65 و 80 و 110 ملي ثانية.


Time = 65 ms
Depth (m)
0
50
100
150
200
250
0
100
200
300
400
500
Distance (m)

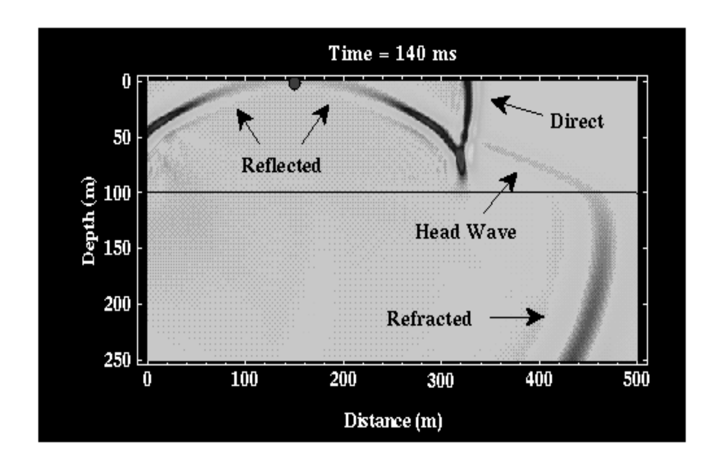

Time = 80 ms
Depth (m)
0
50
100
150
200
250
0
100
200
300
400
500
Distance (m)



نلاحظ أن الصورة السابق تشبه تلك التي تحدثنا عنها عندما كانت الطبقات عالية السرعة فوق الطبقات المخفضة السرعة باستثناء تقوسالـ Wavefront حيث أن تقوس خط الـ Wavefront للموجات المنكسرة أشد من تقوس خط الـ Wavefront للموجات المباشرة في حين كان تقوسه في المرة السابقة أشد في الموجات المباشرة من الموجات المنكسرة ، من ذلك نستنتج أيضاً أن الطول الموجي للموجات قد اختلف عما أخذناه في السابق حيث أن الطول الموجي للموجات المنكسرة أصبح أكبر من الطول الموجي للموجات المباشرة .

لو دققنا النظر في الأشكال السابقة سنلاحظ أنه ومنذ 0إلى 70 ملي ثانية كانت الموجات تسري في الطبقة العلوية وعند 80 ملي ثانية بدأت بالتفاعل مع الحد الفاصل بين الطبقتين حيث ارتد جزء من الموجات عن السطح الفاصل وهي الموجات المنعكسة والجزء الآخر اخترق الحد الفاصل وهي الموجات المنكسرة.

وإذا سمحنا للموجات بالانتشار أكثر داخل هاتين الطبقتين ستحدث لدينا ظاهرة مثيرة للغاية توضحها الصورة التالية .



في الصورة السابقة نلاحظ أن جزء من الموجات المنكسرة قد انتشرخلال الطبقة السفلية موازياً للحد الفاصل بين الطبقتين .. كذلك جزء من الموجات المباشرة انتشر ومن خلال الطبق العلوية موازياً للحد الفاصل بين الطبقتين .. ومع مرور الوقت تبدأ الموجات المنكسرة في الظهورفي الطبقة الأولى منتج موجد جديدة تعرف باسم الموجات الرأسية.

هذه الظاهرة لم تكن موجودة عندما كانت الطبقات العالية السرعةفي الأعلى والسبب أن الموجات المنكسرة لم تكن لتنتشربشكل موازي للحد الفاصل ولا كان لتظهر في الطبقة العلوية .. وقد ظهرت في حالتنا هذه بسبب التناسب بين انتشار الموجات المنكسرة والمنعكسة والمباشرة وتحركها بشكل أفقي في الطبقة العلوية .

وعند استقبالنا لهذه الموجات على سطح الأرض ستستقبل أجهزتنا الموجات المباشرة أولاً تليها الموجات المنعكسة .. هذا إذا كانت المسافات قصيرة بين المصدر والمستقبل .

أما لو وضعنا المستقبلات على مسافات بعيدة عنالمصدر فعند مسافة ما سوف تبدأ المستقبلات في استقبال الموجات المنكسرة (الرأسية) قبل الموجات المباشرة والمنعكسة .

إذن وفي حالة ما إذا كانت السرعة تزيد مع العمق فإن المستقبلات ستستقبل الموجات المباشرة أولاً إذا كانت المسافة بين المصدروالمستقبلات قصيرة أو لو كانت المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة فإن الأجهزة ستستقبل الموجات الرأسيةHead waves أولاً وهذا هو الأساس في المسح بالطريقة السيزمية الإنكسارية

لكن ماهي الموجات الرأسية والتي تعتبر الأساس للطريقةالسيزمية الانكسارية فكيف ظهرت وماهي مميزاتها ..؟

في عمليات المسح السيزمي الإنكسارية نهتم بدراسة زمن أولى الموجات وصولاً بالإضافة إلى المسافات بين المصادر والمستقبلات .

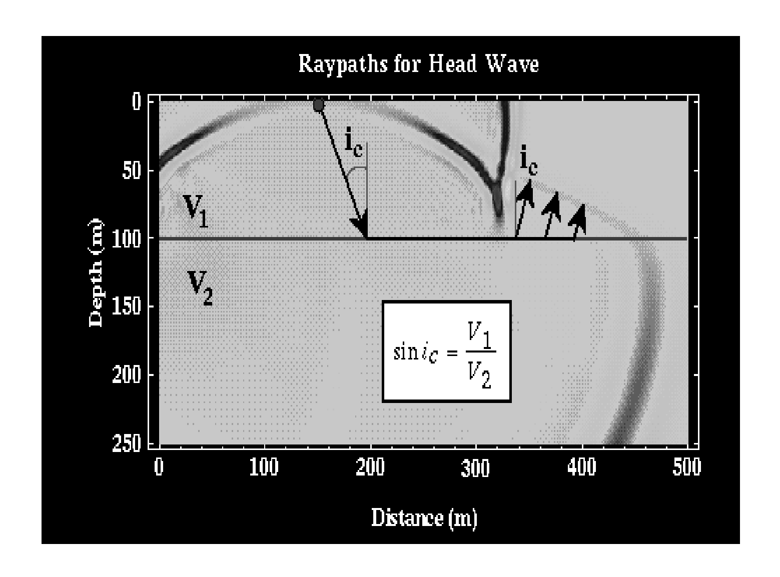
وفي الطريقة الإنكسارية تكون أولى الموجات وصولاًهي الموجات المباشرة أو الموجات الرأسية.

إذن سنهتم بدراسة زمن وصولهاتين الموجتين .

إن حساب زمن وصول الموجات المباشرة بسيط نسبياً فهو عبارةعن المسافة الأفقية بين المصدر والمستقبل مقسومة على السرعة.

ولحساب زمنوصول الموجات الرأسية فإننا نحتاج أولاً إلى معرفة الطريق الذي تسلكه هذه الموجات .

ويمكن أن توضح لنا خطوط الـ raypath الطريق الذي تسلكه الموجات الرأسية بالتعاون مع قانون سنل ... نحن نعلم أن خطوطالـRaypaths تكون عادة عموديةعلى الـ Wavefronts وفي الصورة التالية قمنا برسم ثلاثة من خطوط الـ Raypaths الخارجة من الطبقة السفلية إلى الطبقة العلوية مروراً بالحد الفاصل بين الطبقتين وسنرمز للزاوية بين هذه الخطوط والعمودي على الحد الفاصل بالرمز ic .



ولو قمنا باستبدال ic مكان i1 في قانون سنل وبالطبع ستكون قيمةi2 تساوي 90 درجة .. سنستطيع عندها حساب زاوية السقوط التي تكون عندها زاوية الانكسار تساوي 90 درجة وتسمي زاوية السقوط هذه باسم الزاوية الحرجة critical angle وهذه هي زاوية سقوط الـ Raypaths الممثل للموجة الرأسية .. باختصار شديد فإن السلوك الذي تسلكه الموجات الرأسية والذي وضحته لنا خطوط الـ Raypaths يتمثل في الآتي انطلاق الموجات من المصدر و مرورها خلال الطبقة الأولى وبسرعة الطبقة الأولى

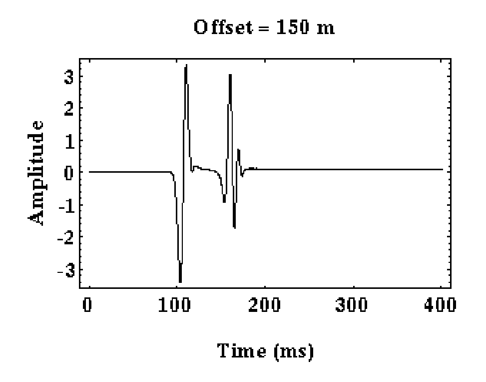
ثم تسقط بزاوية حرجة على الحد الفاصل بين الطبقتين وتنكسر لتسري أفقياً في الطبقة الثانية وبسرعة الطبقة الثانية ثم تعود إلى الطبقة الأولى وتمر من خلالها بسرعتها لتستقبلها المستقبلات على السطح .

وبالرغم أن الموجات الرأسية تسافر عبرمسافة أطول من تلك التي تقطعها الموجات المباشرة direct arrival إلا أنها تصل قبلها في بعض المسافات والسبب في ذلك أنها تزيد من سرعتها خلال مرورها في الطبقة الثانية ولذلك فإننا نسجلها أحياناً قبل أن نسجل الموجات المباشرة... فكيف تتم عملية تسجيل البيانات ..؟ تسجيل الحركات الأرضية حتى الآن عرفنا كيف تنتشر الموجات في باطن الأرض وكيف تتفاعل مع الحدود الفاصلة بين الطبقات.

فالبعض منها ينطلق عبر الطبقة الأولى دون أن يتفاعل مع الحد الفاصل ،والبعض الآخر ينعكس مرتداً عن الحد الفاصل والبعض الآخر يعبره منكسراً وعائداً إلينا على شكل موجات رأسية ... ولكم كيف نسجل هذه الموجات ...؟

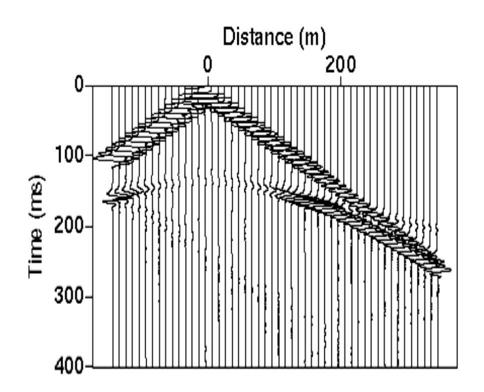
من المعلوم لدينا أن الموجات تنتشر في جميع الاتجاهات ولكننا وللأسف الشديد لا نستطيع تسجيلها كلها .. ولذلك فإننا نكتفي بتسجيل تلك الموجات التي تصل إلينا على السطحوفي منطقة محددة ...وفي الواقع أن ما نسجله هو عبارة عن الحركات الأرضية الناشئة عن الموجات التي قمنا بإصدارها...

ونستطيع أن نستقبل هذه الحركات بواسطةas seismometers أو geophones وسنتحدث عن هذه الآلات بالتفصيل لاحقاً وخلاصة القول اننا نستطيع تسجيل ودراسة الحركات الأرضية الناتجة عن مصادرنا الزلزالية ونستقبلها على الشكل التالي :



وفي هذا الشكل مثل المحور الأفقي التغير في الزمن مع انتشارالموجات ويمثل المحور القائم (الصادي) التغير في الطول الموجي للموجة أما الخط المتعرج فهو يمثل الحركة الأرضية ويطلق عليه اسم... seismogram في الشكل الموجود لدينا نلاحظ أن أول تغير في خط الـ seismogram تم عند 100 ملي ثانية تلاه تغير آخر حدث بعد 150 ملي ثانية هذه التغيرات تدل على بداية استقبال الموجات .. ولكن ماهي هذه الموجات .. ؟ فنحن نعلم أن الموجات المباشرة هي أولى الموجات وصولاً إلا أنه وفي بعض الأحيان تكون الموجات الرأسية هي أولى الموجات وصولاً .. فكيف أستطيع تحديد نوع الموجة المُستقبَلة ...؟

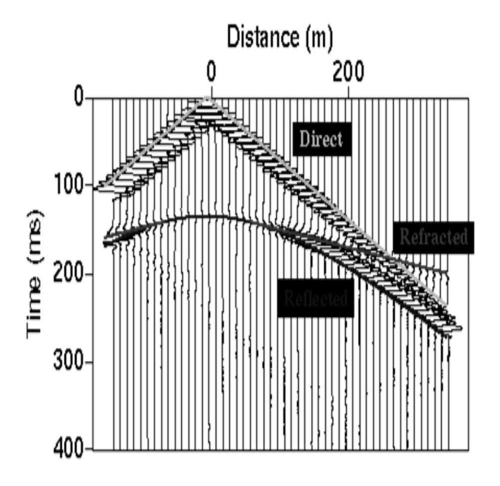
من المستحيل معرفة طبيعة الموجة المستقبلة من خلال قراءة واحدة فأنا أحتاج للعديد من القراءات لتحديد نوع هذه الموجات.. لذلك نقوم بعمل مجموعة من القراءات المختلفة وفي نفس الوقت ونقوم بوضعها على الصورة التالية ..



وفي هذا الشكل يمثل المحور الأفقي المسافة بين المصدروالمستقبلات.. ويمثل المحور الرأسي التغير في الزمن مع انتشار الموجات ... ويمثل كل خط من خطوط الـ seismogramالحركة الأرضية التي استقبلها المستقبل الموجد عند نفس الموقع .

مثال : الخط الموجود على بعد 200 متر من المصدر يمثل الحركة الأرضية التي استقبلها المستقبل الموجود عند 200 متر .. وهكذا .. بعد ذلك قمنا بجمع جميع البيانات التي استقبلناها ووضعناها على الشكل الذي ترونه بالأعلى والذي يعرف باسم shot recordsومن مميزات وضع البيانات بهذا الشكل أنه سياعدنا على تحديد زمن أولى الموجات وصولاً بالإضافة إلى المسافات التي نستقبلعندها هذه الموجات.

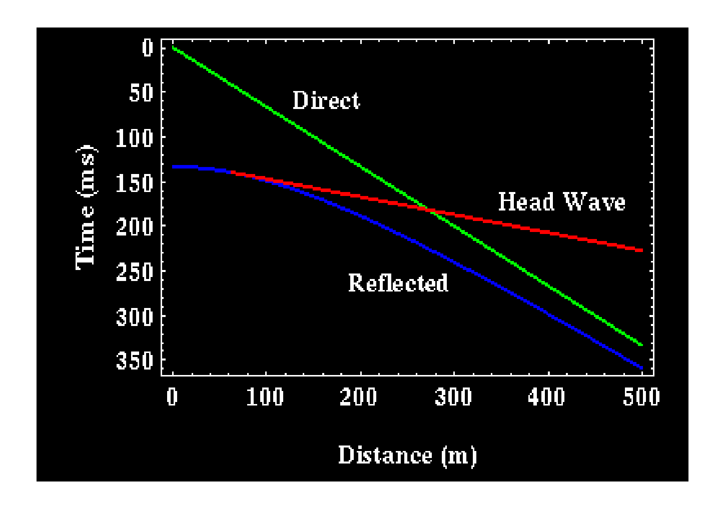
لو نلاحظ أنه كلما ابتعدت المسافة عن المصدر كلماتأخر زمن وصول الموجات .. هذا الاختلاف في الوقت مقابل المسافة يسمى moveout وإذا كان التغير في الـ moveout كبير فإنه سيظهر على الـ shot records على شكل خط شديد الميل في حين إذا كان التغير صغير فسيظهر على شكل خط بسيط الانحداركيف نستطيع تحديد أنواع الموجات بواسطة الـ ... shot records ؟لاحظ الشكل التالي .



كما ذكرنا سابقاًً أن الموجات المباشرة ستكون أولى الموجات وصولاً وبالذات عند المستقبلات القريبة من المصدر ... وتظهر هذه الموجات علىshot records بطول موجي عالي ويكون الـ moveout لها كبيروثابت ... في المثال الموجود لدينا يمتد الخط المستقيم الممثل direct arrivaz حتى مسافة 275 مترمن المصدر وبعد 275 متر يظهر لدينا خط ، الطول الموجي له قصير بعض الشيءوالـ moveout صغير وثابت

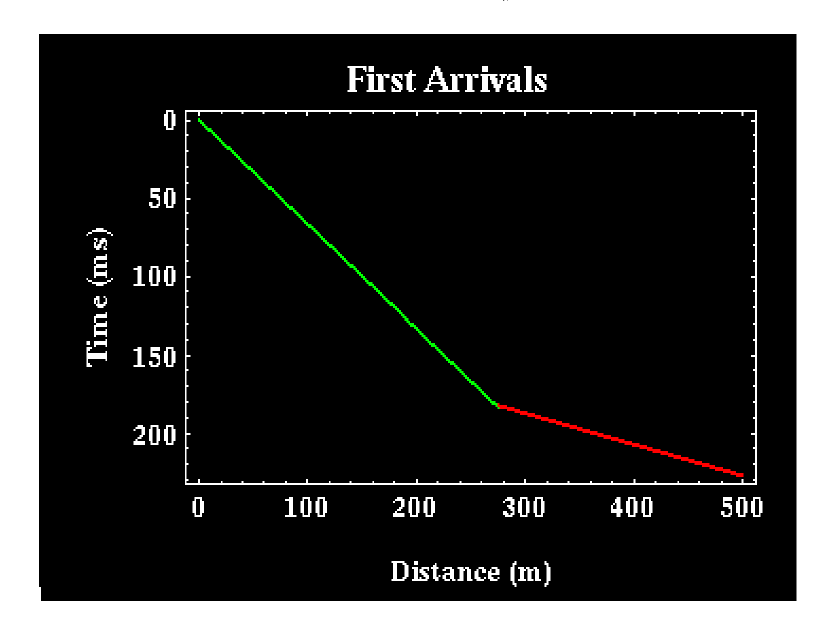
وميل هذا الخط أقل بكثير من ميل خط الـ direct arrival

أيضاً يوضح لنا الـshot records أن آخر الموجات وصولاً وعند جميع النقاط هي الموجات المنعكسة ... reflected arrival ونلاحظ ان الـ moveout للـ reflected arrivalغير ثابت حيث يساوي صفر عند المصدر وتقترب قيمته من الـ direct arrival على بعد مسافات كبيرة من المصدر .. وعند رسم العلاقة بينزمن أولى الموجات وصولاً مع المسافات بين المصدر والمستقبلات يطلق على الشكل اسمtravel-time curves ويظهر على الصورة التالية ..



ونستطيع من خلال الشكل السابق تحديد الـ first arrivalعندكل نقطة استقبال .. فلو نلاحظ أن الـ first arrival من المصدر وحتى مسافة 275 متريمثل الـ direct wave أما بعد الـ 275 متر فإن الـfirst arrival يمثلhead wave .

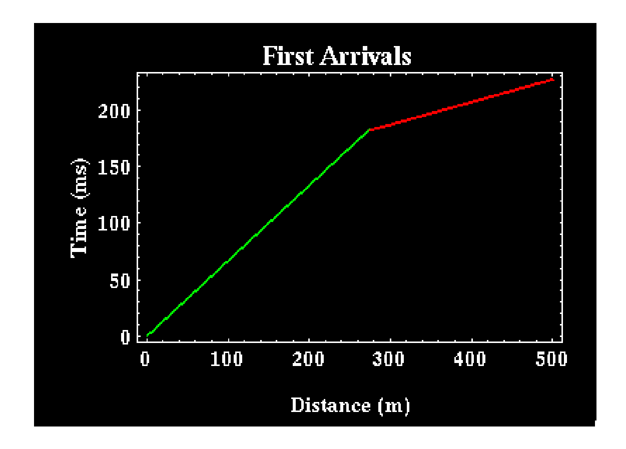
سنأتي بالـtravel-time curve ونركز على أولى الموجات وصولاً ، بمعنى آخر نحدد نوع أولى الموجات التي استقبلتها المستقبلات .. فهذا هو لب الطريقة الانكسارية التركيز على زمن أولى الموجات وصولاً وربطها بالمسافة بين المستقبلات و المصدر وسيظهر الـ Plottingكما في الشكل التالي ..



في الطريقة الانعكاسية نلاحظ ان الموجات تتغلغل إلى العمق لذلك فالزمن يتغير بتغلغل الموجات إلى أسفل ثم ارتدادها.

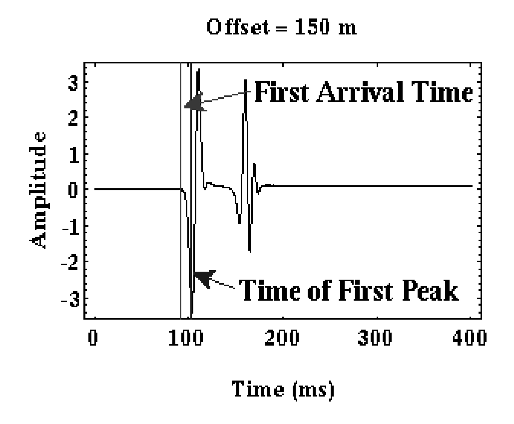
أما في الطريقة الانكسارية فالموجات تنكسروتعود إلينا مرة أخرى فلذلك التغير في الزمن يكون مع صعود الموجات إلى أعلى

وعلى هذا الافتراض قمنا بتغيير الشكل السابق على اعتبار ان الزمن يتغير كلمااتجهنا إلى أعلى على الصورة التالية ...



وفي الواقع انه لا يوجد فرق بين الشكلين السابقين إلا أننا سنستخدم النموذج الذي يتغير فيه الوقت كلما اتجهنا إلى أعلى .. وفي الشكل السابق نلاحظ أن الـ travel-time curve وضح لنا زمن وصول أولى الموجات بخطين مستقيمين متقاطعين .. الخط الأخضر يمثل وصول الموجات المباشرة direct arrival والخط الأحمر يمثل وصول الموجات المنكسرة refracted arrival ونستطيع التميز بين الخطين بواسطة اختلاف ميل كل منهما . وتسمى النقطة التي يتقاطع عندها الخطين باسم crossover distance

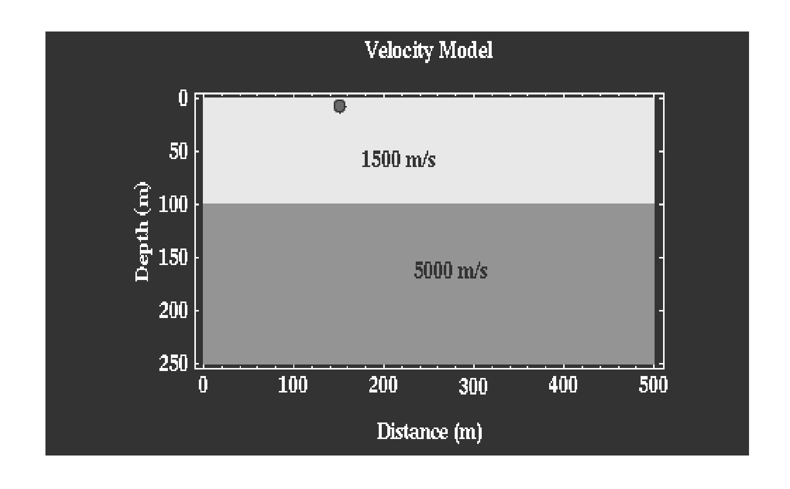
وبعد هذه النقطة تبدأ الموجات المباشرة بالاختفاء لتكون الموجات المنكسرة هي أولى الموجات وصولاً ... كيف استطعنا تحديد الـ First Arrivals من الـ shot records ..؟كما ذكرنا في الردود السابقة أن الـ shot records عبارة عن مجموعة من الـ seismogramsالتي تم تسجيلها من مسافات مختلفة من المصدر .. لذلك فنحن عندنا تحديدنا للـ First Arrivals منالـshot records يجب أننحددها أولاً في الـ seismogramsوذلك بتحديد الزمن الذي يحدث عنده أول تغير فيحركةالـ seismograms لاحظ الشكل التالي حيث يحدد الخط الأحمر زمن أولتغير في خط seismograms.



وفي الواقع ان تحديد زمن أول تغير على هذا الـseismograms سهل جداً حيث لايوجد أي تغير عليه قبل هذا الوقت المشار إليه بالخط الأحمر ... لكن ماذا لو وجد بعض المصادر المشوشة على الـseismograms والتي سوف نتحدث عنها لاحقاً ..؟ سيؤدي ذلك إلى صعوبة في تحديد الـFirst Arrival

وفي العادة نفضل نحن الجيوفزيائيين اختيار أول قمة بعد التغير الأول كما هوموضح بالخط الأزرق في الشكل الموجود أعلاه .. الآن وبعد أنعرفنا كيفية رسم الـ first arrival travel-time curves ...

فكيف يمكنناالاستفادة من هذا الـ curve في تحديد التركيب الموجود لدينا تحت سطح الأرض .. لو افترضنا أن شكل التركيب الموجود لدينا كالتالي:

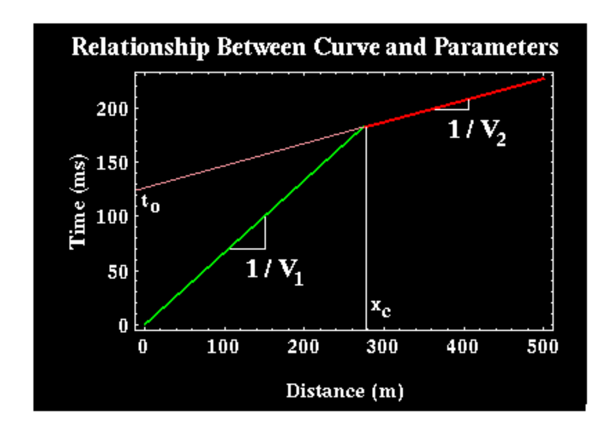


عبارة عن طبقتين سرعة الطبقة الأولى أبطأ من الطبقة الثانية single layer over a)

halfspace)والسطح الفاصل بينهما عبارة عن خط أفقي.

فكيف سيكون شكل ال first arrival travel-time curves لهذا التركيب .. ؟

سيكون على الصورة التالية :

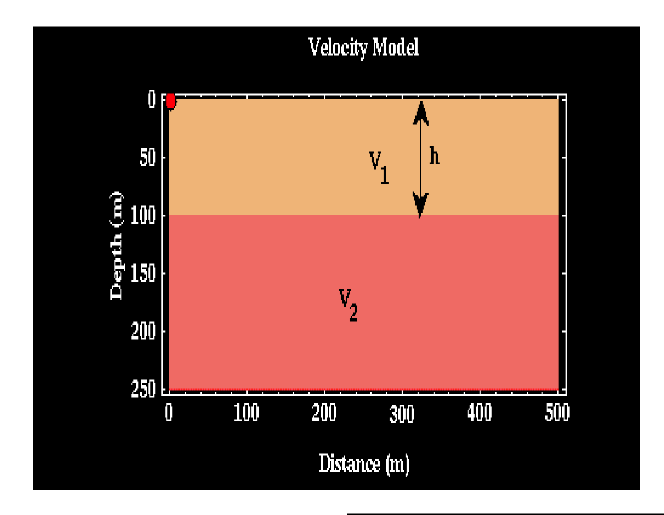


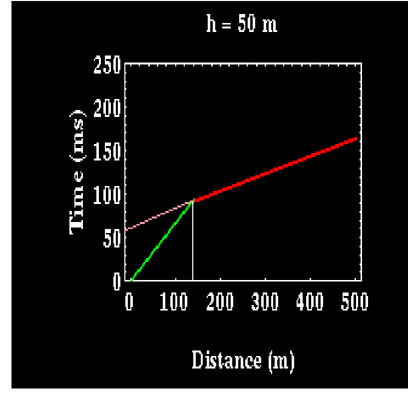
دعونا نركز على دراسة الخط الأخضر الموجود في الـ curve ، يمثل هذا الخط أولى الموجات وصولاً إلى المستقبلات وهي في الواقع الموجات المباشرة وهي تلك التي عبرت من خلال الطبقة الأولى دون أن تتفاعل مع الحد الفاصل بين الطبقتين ... لو دققنا النظر فسنجد أن هذا الـ curve يوضح العلاقة بين المسافات والزمن .. لذلك فمن خلال الخط الأخضر نستطيع تحديد سرعة الموجات المباشرة

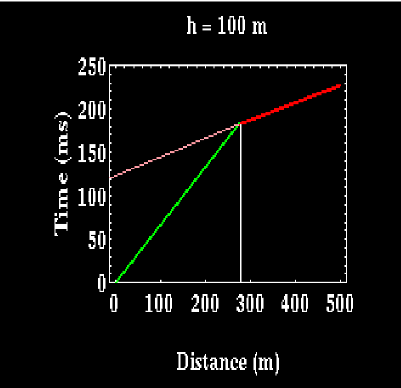
وذلك بقسمة المسافة بين المستقبل والمصدر على زمن وصول الموجات .. وفي المقابل نستطيع تحديد سرعة وصول إلى أي مستقبل من المستقبلات بتحديد بعده عن المصدر وزمن وصول أولى الموجات إليه .

إذن من السهل جداً تحديد سرعة الموجات بواسطة هذه الخطوط وذلك بتحديد ميلها ثم إيجاد مقلوب أو معكوس الميل لإيجاد سرعة سريان الموجة خلال الطبقة .. وبنفس الطريقة بالنسبة للخط الأحمر حيث يمكننا ومن خلاله تحديد سرعة الطبقة الثانية فهو يمثل الموجات الرأسية head wave وهي تلك التي صعدت إلينا بعد مررها من خلال الطبقة الثانية حاملة سرعتها.

إذن ومن خلال الـ first arrival travel-time curves استطعنا تحديد عدد الطبقات الموجودة لدينا بالإضافة إلى سرعة انتشار الموجات في كل منها .


Velocity Model
Depth (m)
Distance (m)
V1
V2
h
0
50
100
150
200
250
0
100
200
300
400
500


h = 50 m
Time (ms)
Distance (m)
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500


h = 100 m
Time (ms)
Distance (m)
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500

نستطيع أيضاً ومن خلال first arrival travel time curves تحديد سمك الطبقات ..في المثال الموجود لدينا ، سمك الطبقة الأولى حوالي 100 متروسمك الطبقة الثانية 150 متر فكيف نستطيع معرفة ذلك من خلال.first arrival travel time curves

هل عن طريق دراسة ميل الخطوط الموجودة لدينا ..؟

طبعاً لا ، لأن الميل يوضح لنا سرعة انتشار الموجات من خلال الطبقات.. لو كان عندنا 2 models ،،،في الـ model الأول كان سمك الطبقة الأولى 100 متر ... وفي الـ model الثاني سمك الطبقة الأولى 50متر .. هل تتوقع أن يظهر الخط الأحمرالممثل Head wave سريعاً أم أنه سيتأخر في الظهور أو أنه سيظهر في نفس الوقت ..؟

نلاحظ في الشكل السابق أن الخط الحمر ظهر سريعاً عندما كان سمك الطبقة 50 متر مما أثر على طول الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة direct wave فيحين أنه ظهر متأخراً عندما كان سمك الطبقة 100 متر مما جعل الخط الأخضر أطول بعض الشيء . لكن لماذا ..؟

فيما سبق ذكرنا أن الموجات الرأسية head wave تسري من المصدر وتمر من خلال الطبقة الأولى حتى تصل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين ثم تسري أفقياً خلال الطبقة الثانية وتعود إلى الطبقة الأولى .

لذلك فإنما يحكم زمن وصولها هو المسافة التي تقطعها حتى تصل إلى المستقبلات فإذا كانت المسافة قصيرة كما في الـ model الأول حيث كان سمك الطبقة 50 متر فوصلت الموجات الرأسية سريعا وانعكس ذلك على طول الخط الأخضر الممثل للموجات الأولية direct wave حيث ظهر قصيراً في الحالة الأولى وازداد طوله في الـ model الثاني حيث زادت المسافة التي تقطعها الموجات الرأسية إلى 100 متر مما أدى إلى ظهورها متأخرة ونستطيع تحديد المكان الذي ستظهر فيه الموجة الرأسية بواسطة معاملين مهمين :

المعامل الأول: هو cross-over distance (xc) وهو تقاطع الخط الأبيض مع محور المسافة تمثل تلك القيمة المسافة التي تكون عندها الموجاتالرأسية Head wave أولى الموجات وصولاًfirst arrival

المعامل الثاني :هو zero-offset time (to) وهو تقاطع الخط الوردي مع المحور الرأسي المُمثل للزمن والموضح في الـ plots الموجود بالأعلى ... وهذه هي قيمة الزمن الذي تكون عندهاالموجات الرأسية Head wave هي أولى الموجات وصولاً ..

من حيث المبدأ يمكنناحساب كلاً من هذين المعاملين ، لكن عملياً فإن الـ zero-offset time هو الأكثرشيوعاً في الاستخدام وذلك لسهولة قياسه .. وهكذا وبقياس xc أو to فإننا نستطيع حساب سمك الطبقة h وذلك وفقاً للقوانين التالية ...

$$h = \frac{t_o V_2 V_1}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

or

$$h = \frac{x_c}{2}\left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}\right)^{1/2}$$

حيث أن :

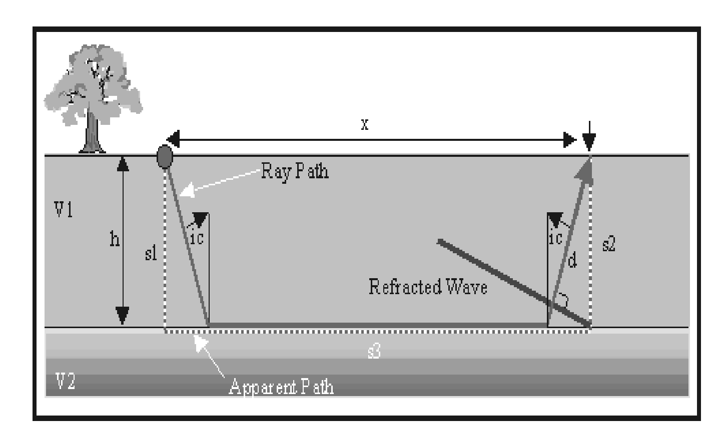
h:سمك الطبقة

V1 : سرعة الطبقة الاولى : V2سرعة الطبقة الثانية

zero-offset time: t0 crossover distance : xc

وبتحديدنا لسمك الطبقة عرفنا تقريباً جزءاً من المسافة التي تقطعها الموجاتالرأسية Head waveفي رحلتها حتى تصل إلينا على السطح حاملة إلينا المعلومات عنالتراكيب الموجودة تحت الأرض ... لكن ما هي تفاصيل هذه الرحلة ..؟وكم من الوقت تستغرقه هذه الموجات حتى تصل إلينا ..؟

لاحظا الصورةالتالية..



هذه الصورة توضح مسار الـ raypath للموجات الرأسية head wave ابتداءً من المصدر وحتى المستقبل

لو أردنا حساب الزمن الذي تستغرقه هذه الموجة حتى تصل إلى المستقبل فسنستخدم المعادلة التالية:

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1}$$

نحن نعلم أن الزمن = المسافة ÷ السرعة ومن ذلك نستطيع حساب الزمن الذي تستغرقه الموجات منذ انطلاقها من المصدر وحتى وصولها إلى السطح الفاصل بين الطبقتين S1 ثم عبورها خلال الطبقة الثانية S3 ومن ثم عودتها إلى المستقبلات S2 وذلك على النحو التالي:

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{s_1}{V_1} + \frac{s_2}{V_2} + \frac{s_3}{V_1}$$

في الصورة السابقة يوجد خطأ في كتابة المعادلة حيث أن S2 يجب أن تحل محل S3 .
ومن الصورة الموجودة في بداية الرد فإن الزمن الذيتستغرقه الموجات من انطلاقها من المصدر وحتى وصولها إلى السطح الفاصل يساوي نفسالزمن الذي تستغرقه الموجات من عودتها من الطبقة الثانية وحتى تصل إلى المستقبل .

إذن

$$t_1 = t_3 = \frac{d}{V_1} = \frac{h \cos i_c}{V_1}$$

والزمن الذي تستغرقه الموجات أثناء مرورها في الطبقة الثانية يكون على الشكل التالي

:

$$t_2 = \frac{x}{V_2}$$

إذن يكون زمن الرحلة الكلي للموجات الرأسية head wave

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\cos i_c}{V_1}$$

ومن قانون سنل فإن :

$$\cos i_c = \frac{1}{V_2}\sqrt{V_2^2 - V_1^2}$$

وبذلك يصبح القانون على النحو التالي :

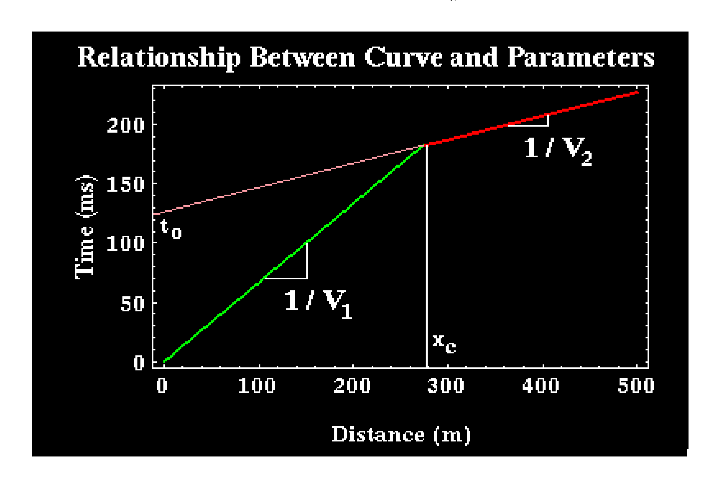
$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1}$$

لو تلاحظوا أن المعادلة السابقة عبارة عن معادلة خط مستقيم ص = أ س + ب

حيث أن أ هي قيمة الميل وهي في المعادلة عبارة عن V21/ و بتعبر عن الجزء المقطوع

من المحور ص وهي عبارة عن t0 اللي اتكلمنا عنها في الردودالسابقة.

ولو لاحظنا الشكل التالي:



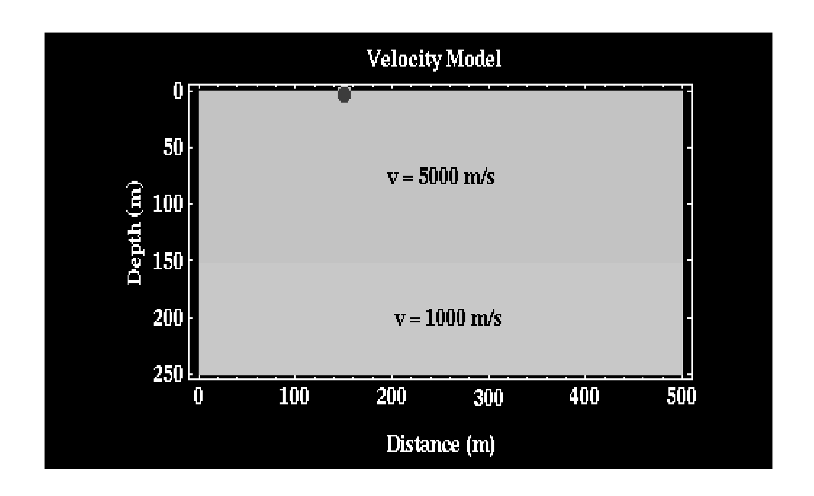
نلاحظ أن الخط الأحمر هوالذي يمثل الموجات الرأسية ومعادلة هذا الخط تعبر عن زمن الرحلة للموجات الرأسية.

في النموزج السابق تعرفنا على نموذج بسيط يوضح كيفية تفاعل الموجات مع السطح الفاصل بين طبقتين بحيث تزداد السرعة مع العمق .

وتعرفنا على الموجات الرأسية head wave وسبب ظهورها وكيفية الاستفادة منها .

وعرفنا كيفية تحليل البيانات بالطريقة الانكسارية وذلك بتحديد زمن وصول أولى الموجات ومن ثم إيجاد عدد الطبقات وسرعة كل طبقة وسمكها

لكن ماذا لو كانت السرعة تقل مع العمق كم في الشكل التالي :

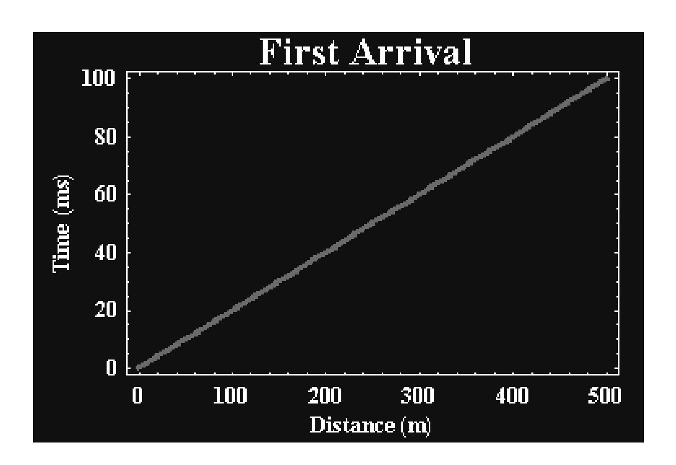


فكيف تتفاعل الموجات مع السطح الفاصل بين الطبقتين . يكون التفاعل كما في الصورة التالية .

لاحظ أنه وفي هذه الحالة لم تظهر لدينا الموجات الرأسية .

إذن كيف سيكون شكل الـ .. travel-time curve ؟

سيظهرلنا الـ travel-time curve نوع واحد من الموجات لأنه لم يستقبل سواها كما في الشكل التالي :



هذا الخط يمثل الطبقة الأولى فقط ويدل على الموجات المباشرة التي استقبلتها المستقبلات .

من هنا نعلم أنه لا يمكننا الاستفادة من الطريقة الانكسارية إذا كنت السرعة تقل مع العمق .. إذ أننا لا نحصل على أي معلومات عن الطبقة الثانية .

ومن أكثر المصادر استعمالاً :

1- Impact Sources: وتعتبر المطرقة الثقيلة من أكثر هذه المصادر استعمالاً حيث يوضع قرص معدني على الأرض ويضرب بواسطة المطرقة توصل بنظام التسجيل حيث يتم تسجيل الموجات الصادرة عنها عن طريق الجيوفون.

من مميزات هذا المصدر أنه بسيط وسهل الاستخدام من عيوبه أن العملية تتم يدوياً ولاتنتج الكثير من الطاقة ويولد الكثير من الموجات السطحية.

Gun Sources-2 :وهي عبارة عن طلقات تطلق على الأرض حيث تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة زلزالية .

وكما في المطرقة الثقيلة يكون هذا المصدر متصل بنظام التسجيل لتسجيل زمن انطلاق الموجات واستقبالها بواسطة الجيوفون.

ومن مميزات هذا المصدر أنه لا يولد الكثير من الموجات السطحية وينتج الكثير من الطاقة

ومن سلبياته أن تكاليف استخدامه مرتفعة مقارنة بالمطرقةالثقيلة إضافة إلى حاجتك إلى تصريح لاستخدام هذا النوع من الأجهزة.

3- Explosive Sources وتنتج هذه المصادر المتفجرة كمية كبيرة من الطاقة وهي عبارة عن صندوق يحتوي على المادة المتفجرة ثم يقذف بطلقات تؤدي إلى تفجيره .

وكما في المصادر السابقة يرتبط هذا المصدر بنظام التسجيل ليتم تسجيل زمن انطلاق الموجات واستقبالها بواسطة الجيوفونات..

ومن مميزات هذا المصدر أنها تنتج كمية كبييرة من الطاقة مقارنة بالمصادرالسابقة ولا تنتج الكثير من الموجات السطحية .. ومن مساؤها أنها خطرة بعض الشيءوتستغرق البيانات الصادرة عن هذا المصدر وقتاً حتى تصل إلى نظام التسجيل مقارنة بالمصادر الأخرى

الجيوفونات Geophones



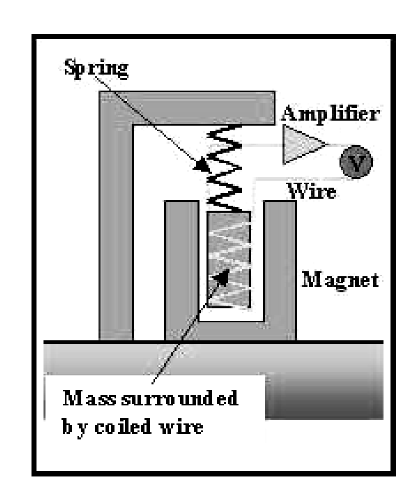
وتوضح الصورة السابقة أحد أنواع الجيوفونات وكما تلاحظون فهو مزود بمسمار صغير لتثبيت الجيوفون في الأرض.

وهذه أنواع أخرى من الجيوفونات:

ولو تلاحظوا أنه هناك نوع من غير مسمار التثبيت وهذا مخصص للأسطح الصلبة.

لكن ماهو مبدأ عمل هذه الجيوفونات .. ؟

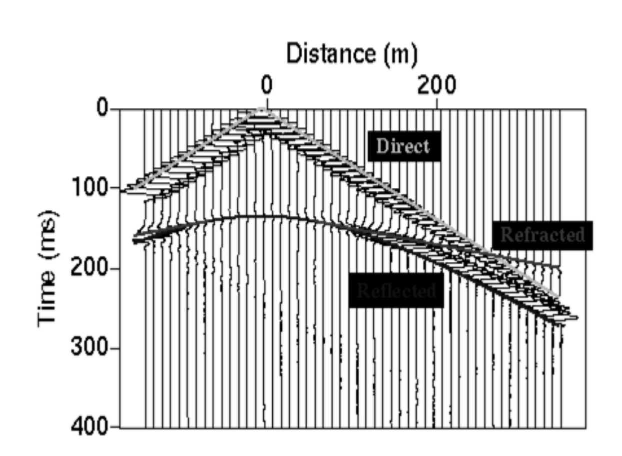
في الواقع إن فكرة عمل الجيوفون جداً بسيطة ..(لاحظوا الصورة التالية)



وبتدقيق النظر في الشكل السابق سنجد أن الجيوفون يتكون من كتلة مرنة قابلة للإهتزاز مع حركة الأرض واهتزازها .. ويحيط بهذه الكتلة سلك معدني. ويحيط بالكتلة والسلك مغناطيس صغير مولد للمجال المغناطيسي. وعند اهتزاز الكتلة يبدأ السلك بتقطيع خطوط المجال فيتولد فيه تيار كهربائي يسجله نظام التسجيل ..

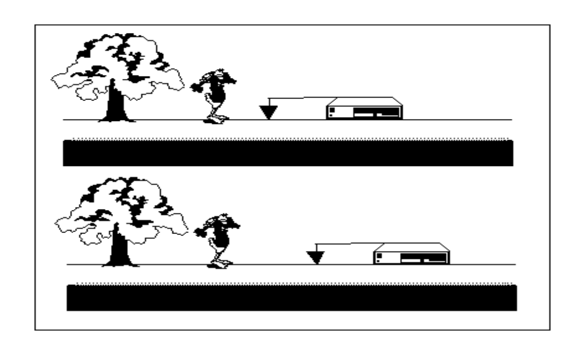
شكل البيانات اللي كنا بنستقبلهابواسطة الجيوفونات ..؟

كانت تظهر على الشكل التالي :

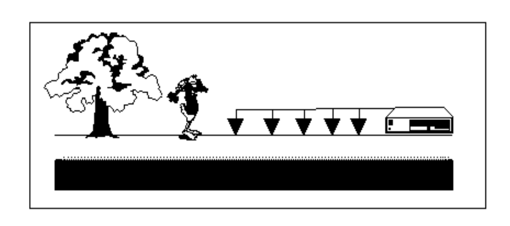


كل خط من هذه الخطوط الموجودة في الصورة السابقة يتم استقباله بواسطة جيوفون

.لكن هل يتم زرع الجيوفونات على النحو التالي :



لاحظوا أنه ثبت المصدر .. وغير مكان الجيوفونات في كل مرة .. في الواقع يمكننا عمل التجربة السابقة على الصورة التالية ..



بدون الحاجة إلى استخدام جيوفون واحد وتغيير موقعه في كل مرة.

بل نستخدم مجموعة من الجيوفونات ونزرعها في نفس الوقت فتعطينا نفس البيانات

نظام تسجيل البيانات السيزمية

Seismic Recording Systems

هذا النظام يقوم بتسجيل الإشارات الكهربائية التي تطلقها الجيوفونات ويتصل معها بواسطة أسلاك كهربائية كمافي الصورة التالية :



ونلاحظ في الصورة السابقة أن الأسلاك تربط الجيوفونات ببعضها ثم تتجه إلى سيارة الأبحاث التي تحمل نظام التسجيل .

ومن الممكن أنيتراوح عدد الجيوفونات بين 10 إلى 110 في المرة الواحدة وتكون المسافات بينها ثابتة.

مصادر التشويش:

وكما هو الحال مع جميع الطرقالجيوفيزيائية فإن هناك مصادر للتشويش تؤدي إلى تشويش البيانات السيزمية .

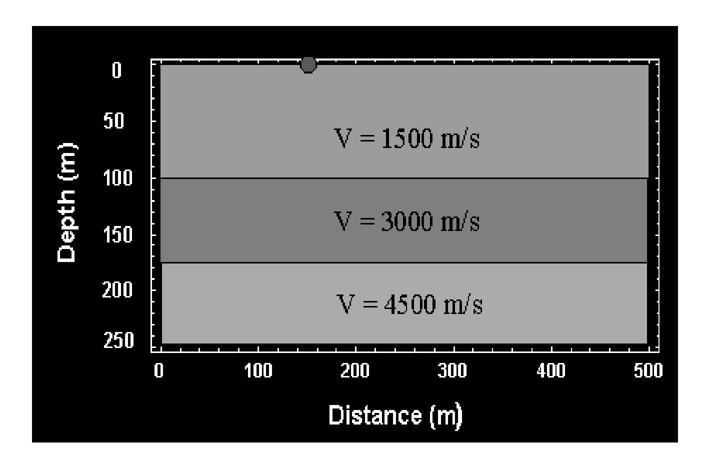
من هذه المصادر :

الحركات الأرضية الخارجة عن سيطرتنا مثل حركة النقل البري حتى تحريك الرياح لفروع الأشجار يؤدي إلى تشويش البيانات السيزمية .

التشويش الكهربائي : فكما نعلم أن الجيوفونات تستقبل الحركة الأرضية وتحولها إلى إشارات كهربائية فأي تشويش على هذه الإشارات الكهربائية يؤدي إلى التشويش على البيانات السيزمية.

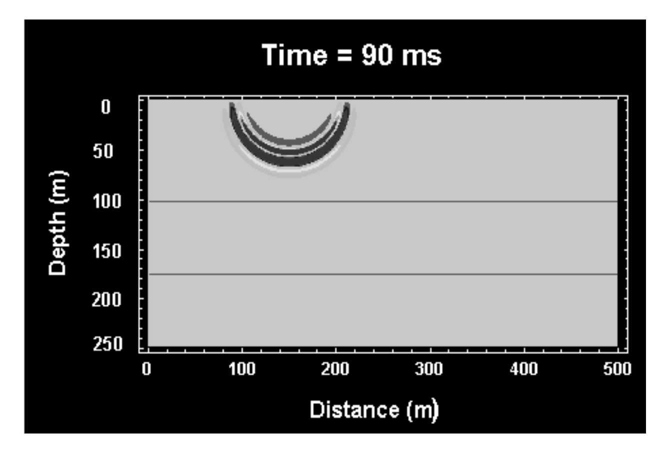
التشويش الجيولوجي : حيث أن التغيرفي طبوغرافية الطبقات يؤدي إلى التشويش على البيانات السيزمية مما يزيد من صعوبة تحليلها

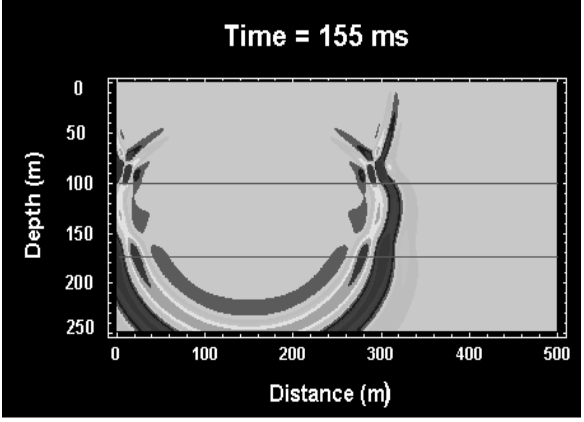
لو كان لدينا ثلاث طبقات كما هو موضح في الصورة التالية ..

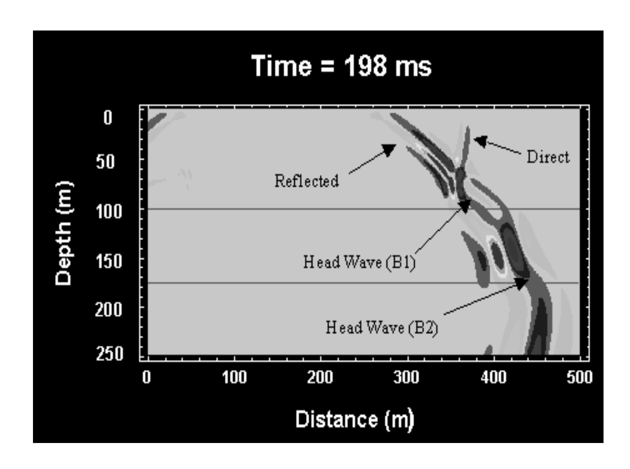


لاحظوا أن السرعة تزازد مع العمق.. فكيف ستتفاعل الموجات مع الأسطح الفاصلة بين الطبقات .. ؟

لاحظ في هذا العرض كيف ستنتشر الموجات من خلال هذه الطبقات:







نلاحظ مما سبق كيف ظهرت الموجات المباشرة Direct wave وانطلقت موازية لسطح الأرض ، و بذلك فهي ستستقبل أولاً وعلى مسافات قريبة من المصدر ..

أيضاً نلاحظ ظهور الموجات الرأسية عند الحد الفاصل بين الطبقة الأولى والثانية B1 وصعودها على السطح لتستقبلها المستقبلات التي تقع على بعد متوسط من المصدر.

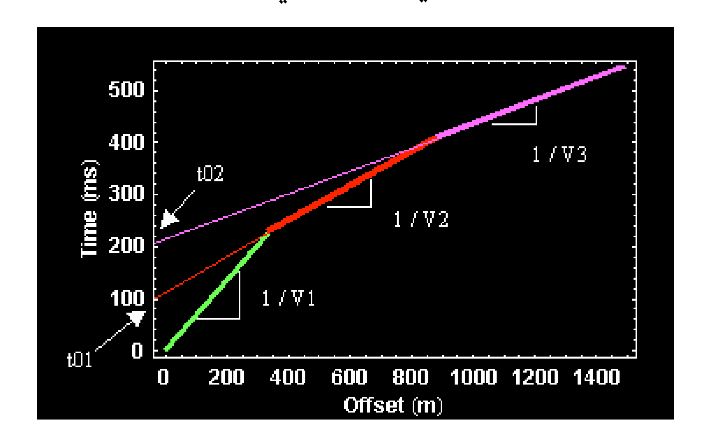
أما الموجات الرأسية التي نتجت عن تفاعل الموجات مع السطح الفاصلبين الطبقتين الثانية والثالثة B2 فإن المستقبلات الأبعد عن المصدر ستستقبلها...

إذن استطعنا تحديد الـ first arrivals وحصره خلال الموجات الثلاث السابقة .

كيف سيكون شكل الـ Travel Time Curves لهذه الطبقات.. ؟

نأتي الآن لنعرف شكل الـ Travel Time Curves للنموذج الذي وضحناه في الرد السابق ،لثلاثة طبقات أفقية،وفيها تزداد السرعة مع العمق.

وسيظهر الـ curve كمافي الشكل التالي ..



وفيه يمثل الخط الأخضر وصول الموجات المباشر direct arrival والخط الأحمر يمثل الموجات الرأسية للطبقة الثانية .. والخط الوردي وصول الموجات الرأسية للطبقة الثالثة.

لاحظ أن الطبقة الثالثة تقع عند عمق 175 متر عن سطح الأرض .. لذلك فإننا سنستقبل أولى الموجات المنكسرة عن سطح هذه الطبقة على بعد 900 متر عن المصدر .. بمعنى أن المستقبلات الموجودة على بعد 900 متر من المصدر هي التي ستستقبل الموجات الرأسية للطبقة الثالثة.

وبصفة عامة ولكي تستقبل الموجات المنكسرة عن سطح طبقة ما موجودة عند عمق معين . فإنك ستستقبل الموجات المنكسرة عن هذا السطح عند مسافة تبعد عن المصدر بحوالي 3 - 5 أضعاف هذا العمق .

أيضاً ومن الشكل السابق ، يمكننا حساب سرعة انتشار الموجات في كل طبقة منهذه الطبقات وذلك بحساب معكوس ميل كل خط من الخطوط الموضحة في الشكل .

كذلك يمكننا حساب عمق كلاً من سطحي الانكسار بإيجاد كلاً من t01 و t02 وسرعة جميع انتشار الموجات في جميع الطبقات..وذلك بواسطة القوانين التالية

$$D_1 = \frac{t_{01} V_2 V_1}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

$$D_2 = \left[t_{02} - \frac{2D_1\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_3 V_1} \right] * \frac{V_3 V_2}{2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} + D_1$$

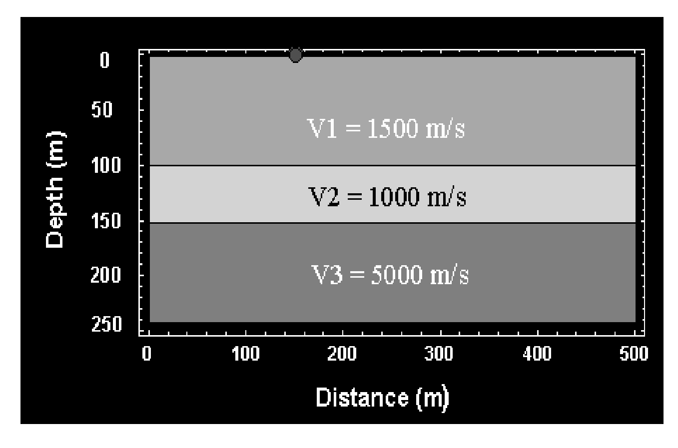
حيث أن D1 عمق سطح الانكسار الأول و D2 عمق سطح الانكسار الثاني.

لا حظ أنه كلما زاد عدد الخطوط في الـobserved travel time curve كلما دل ذلك على زيادة عدد الطبقات ونستطيع إيجاد سرعة انتشار الموجاتفي االطبقات بواسطة إيجاد ميول الخطوط بالإضافة إلى عمق أسطح الطبقات بإيجادt0 .

سؤال : هل يمكن أن تكن هناك مجموعة من الطبقات تحت سطح الأرض ولا نستطيع كشفهابواسطة المسح السيزمي ..؟

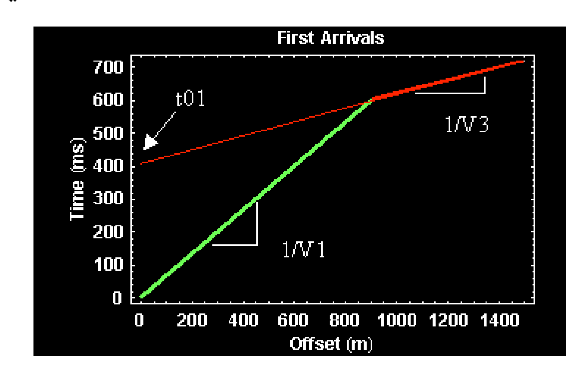
من الممكن أن توجد مجموعة منالطبقات تحت سطح الأرضولا نستطيع كشفها بواسطة المسح السيزمي ويطلق عليها اسمHidden Layers وهناك احتمالين لجعل هذه الطبقات مخفية.

الاحتمال الأول : وجود طبقة منخفشة السرعة ضمن طبقتين أعلى منها في السرعة كما في الشكل التالي ..



وبسبب وجود هذه الطبقة المنخفضة السرعة فإن السطح الفاصل بين الطبقة الأولى والثانية لا تنتج عنه موجات رأسية Head wave لنستقبلها على السطح .. فتتابع الموجات انتشارها حتى تصل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين الثانية والثالثة ..وبما أن سرعة الطبقة الثالثة أعلى من سرعة الطبقة الأولى فعندها ستظهر لدينا الموجات الرأسية صاعدة إلينا على السطح كاشفة عن وجود الطبقة الثالثة..

وسيظهر الـ first arrival travel-time curve كما في الشكل التالي .



لاحظ أنه يوجد لدينا ثلاثة طبقات .. والـ curve أوجدلدينا طبقتين.. وإذا استخدمنا ما تعلمناه سابقاً سنوجد سرعة الطبقة الأولى 1500 م / ثانية وذلك بحساب ميل الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرةdirect arrival وسنجد أيضاً ان سرعة الطبقة الثانية 5000 م / ثانية بإيجاد ميل الخط الأحمر .. وبإيجاد قيمة t01 من ال curve وبحساب سمك الطبقة الأولى بواسطة القوانين التالية كما تعلمنا سابقاً.

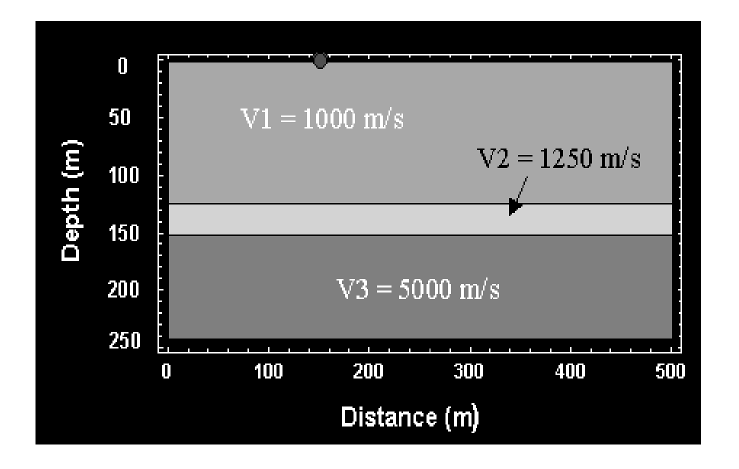
$$h = \frac{t_o V_2 V_1}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

or

$$h = \frac{x_c}{2}\left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}\right)^{1/2}$$

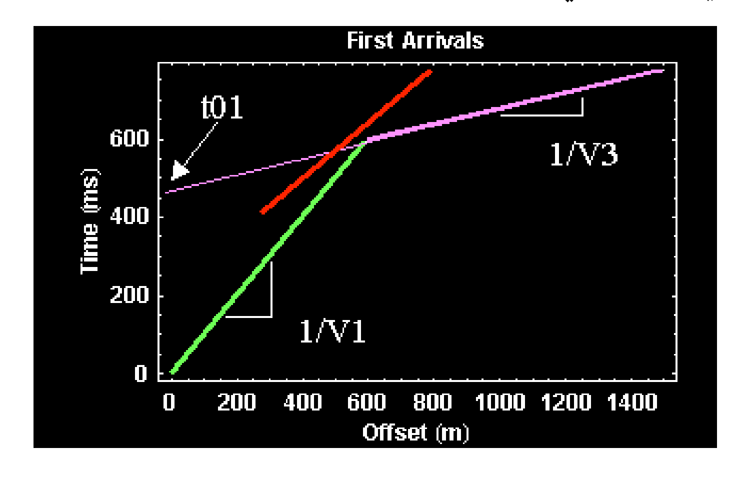
فسنجد أن سمك الطبقة الأولى 314 متر .

الاحتمال الثاني: لاختفاء طبقات موجودة تحت سطح الأرض . وجود طبقة عالية السرعة إلا أنها رقيقة جداً (ذات سمك بسيط) كما في الشكل التالي .



في هذا الشكل نلاحظ وجود طبقة رقيقة تعتلي الـ halfspace (الطبقة الثالثة) وسرعة هذه الطبقة أعلى من جميع الطبقات التي تعتليها ... وبعكس المثال السابق فإن الموجات الرأسية Head wave ستظهر عند كلاً من السطحين الفاصلين بين الطبقات ..لكن الموجات الرأسية الصادرة عن الطبقة الأقل سمكاً لن تصل إلينا إلى السطح أولاً وذلك لبساطة سمك الطبقة وانخفا ضسرعتها نسبة إلى الطبقة الثالثة ..

فحتى تصل الموجات الرأسية الصادرة عن السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية تكون الموجات الرأسية الصادرة عن السطحالفاصل بين الطبقتين الثانية والثالثة قد انطلقت وتجاوزت الموجات الرأسية الصادرةعن السطح الأول بسرعتها العالية لنستقبلها على السطح أولاً وبذلك سيظهر الـfirst arrival travel-time curve كما في الشكل التالي.

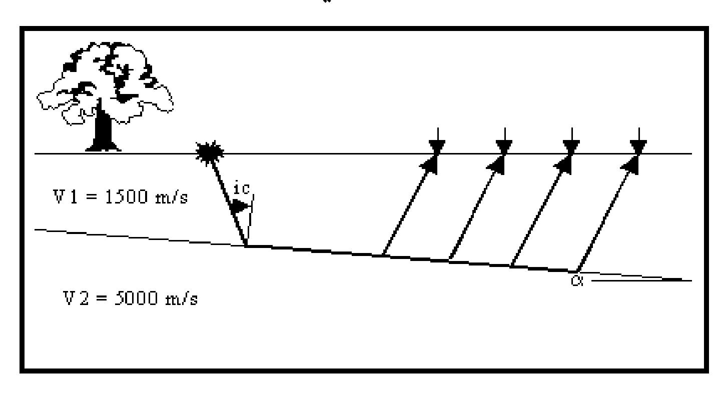


ويمثل الخط الأحمر في الشكل السابق الموجات الرأسية الصادرةعن السطح الفاصل بين الطبقتين الأولى والثانية .. وكما نلاحظ فإنه لا يمكن اعتباره من أولى الموجات وصولاً لذلك لا يمكننا حسابه .. وبحساب سرعة الطبقات الظاهرة لدينا بحساب ميول الخطوط الممثلة للوصول الأول للموجات

وبحساب سمك الطبقة الأولى أو بالأصح عمق السطح الفاصل بين الطبقين الأولى والثانية سنصل إلى نتنيجة غير صحيحة بسبب اختفاء الطبقة الثانية عن ملاحظتنا .. .

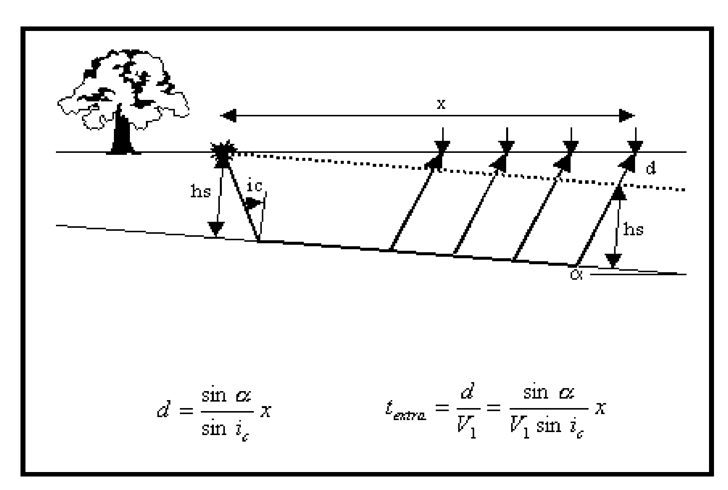
لا حظ أنه وفي كلتا الحالتين السابقتين لا يمكننا معرفة وجود الطبقات المخفية حيث أنها لاتظهر لدينا في الـ travel-time curve ، ولا نستطيع الوصول إليها إلا بواسطة عمليات الحفر..

ماذا لو كان السطح الفاصل بين الطبقات سطح مائل ...؟ فنحن نعلم أن هناك احتمالية بأن تكون الطبقات مائلة وبالتاليتكون الأسطح الفاصلة بين الطبقات عبارة عن اسطح ما ئلة ... فكيف ستؤثر هذهالأسطح على ملاحظاتنا الانكسارية refraction observations..؟ لاحظ الشكل التالي :



هنا يوجد لدينا halfspace عالي السرعة تحت طبقة منخفضة السرعة ... والسطح الفاصل بين الـ halfspace والطبقة عبارةعن سطح مائل ، واتجاه الميل من اليسار إلى اليمين .. لاحظ أنه وفي هذا المثال وضعنا المصدر على يسار الشكل أي فوق الجزء الأعلى من الميل

وكما أخذنا في الأمثلة السابقة ، فإنه ومع زيادة السرعة مع العمق ستتولد لدينا الموجات الرأسيةعند الحد الفاصل بين الطبقتين بمرورها من خلال الطبقة الثانية ثم عودتها إلى الطبقة الأولى واستقبالها على السطح... في الشكل التالي وضحنا خطوط الـ Raypathsالممثلة للموجات الرأسيةHead wave بأربعة خطوط حمراء ..



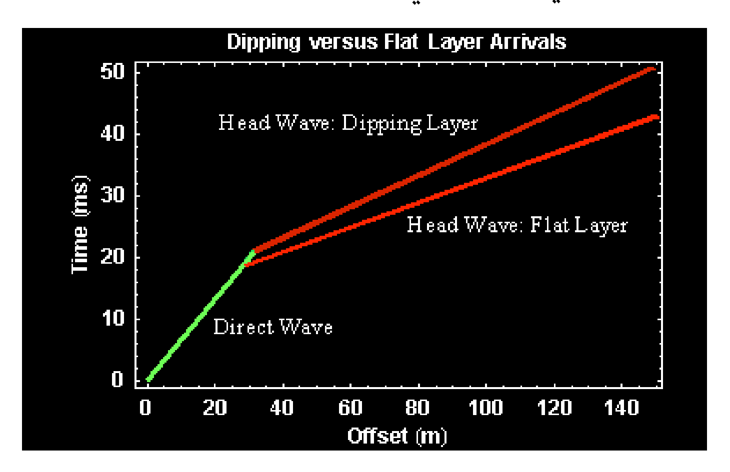
تخيل لو أننا زرعنا الجيوفونات تحت سطح الأرض من المصدربموازة السطح المائل (كما هو موضح بالخط الأسود المتقطع) فإن البيانات التي سنستقبلها من هذه الجيوفونات ستظهر كما لو كان السطح الفاصل أفقي أو مستوي غير مائل flat boundary

لذلك فإن أوقات الوصول للموجات الرأسية من المصدر وحتى الخط الأسود المتقطع سيمثل وقت وصول الموجات الرأسية كما لو كان boundary أفقياً.. وبما أننا لا نستطيع وضع الجيوفونات في باطن الأرض عند الخط المتقطع فإنها ستضطر لقطع مسافة زائدة (ممثلة بالخط الأزرق) حتى تصل إلينا على السطح .

لاحظ أيضاً أن المسافة (بين المصدر والجيوفون) التي نستقبل عندها الموجات الرأسية على سطح الأرض ستختلف إذا كان السطح الفاصل بين الطبقات عبارة عن سطح مائل عنه مما إذا كان السطح أفقي. لذلك وعند مقارنتنا بين زمن وصول الموجات الرأسية عندما يكون الـ boundary أفقياً بزمن وصول الموجات الرأسية عندما يكون boundaryمائل فإننا سنجد أن الموجات الرأسية الصادرة عن الـ boundary ستصل متأخرة بعض الشيء بالإضافة إلى كونها أبعد في الـ.. offset

إذن هناك فرق في الزمن بين وصول الموجات الرأسية من الـ boundary المائل إلى سطح الأرض والـ boundary الأفقي إلى السطح .. ويمكننا حساب هذا الفرق * في الزمن عند كل جيوفون بمعرفة عمق الطبق α ، والمسافة بين الجيوفون والمصدر x ، ومقدار الزيادة في الـraypath ورمزنا له بالرمز d وبقسمة هذه المسافة على السرعة V1ستعطينا مقدارالزيادة في مدة رحلة الموجات الرأسية .. والمعادلة موجودة في الشكل الموضح بالأعلى .. لاحظ أن الفرق في مدة الرحلة يزداد مع زيادة المسافة بين الجيوفون والمصدر .. فمثلاً لو حسبنا الفرق عند الجيوفون الأول فكانت القيمة س مثلاً فإن هذه القيمة ستزداد عند انتقالنا للجيوفون الثاني الأبعد عن الجيوفون الأول من المصدر .. لذلك يمكننا أن نتوقع أن الـ travel-time curve للسطح المائلسيكون عبارة عن خط مستقيم .

وسيظهر كما في الشكل التالي ..



نلاحظ أن الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة لم يتأثربميل السطح الفاصل .. ويمثل الخط الأحمر الداكن الموجات الرأسية الصادرة عن السطح المائل ، ويمثل الخط الأحمر الفاتح الموجات الرأسية التي ستصل إلى الخط المتقطع.. وكما ذكرنا سابقاً لاحظ زيادة المسافة offset مع زيادة الزمن أو بالأصح الفرق في الزمن بين الموجتين.. ومما سبق نلاحظ التالي.

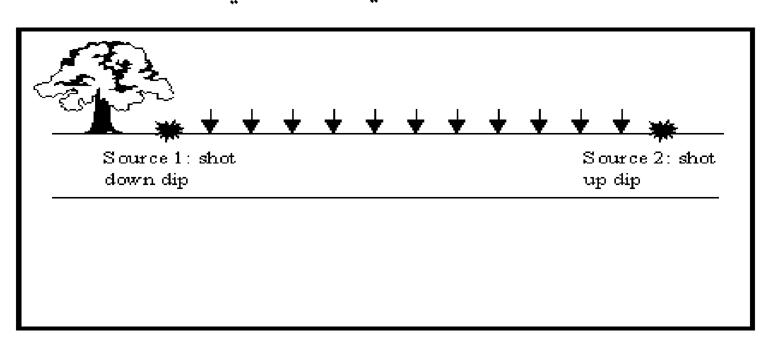
أننا لا نستطيع أن نلاحظ ميل السطح الفاصل بين الطبقات من خلال شكل الـ-travel time curveحيث لاحظنا مدى شبهه بشكل الـcurve ما إذا كان السطح أفقي

أنه يمكننا حساب سرعة الطبقة الأولى بحساب ميل الخط الأخضر الممثل للموجات المباشرة.

وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فستنجد أن السرعة منخفضة بعض الشيء ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات في حين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر..

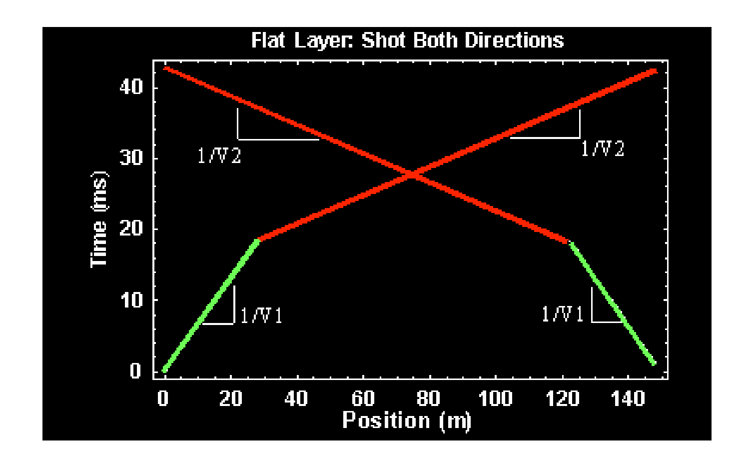
شاهدنا في الردود السابقة كيف أن الملاحظات الانكسارية لا تعطينا فكرة عن كونالطبقات مائلة أو مستوية .. فكيف يمكننا حل هذه المشكلة حتى نستطيع الكشفعن وجود الطبقات المائلة .. ؟

تخيل لو كانت الطبقات أفقية كما في الشكل التالي ..

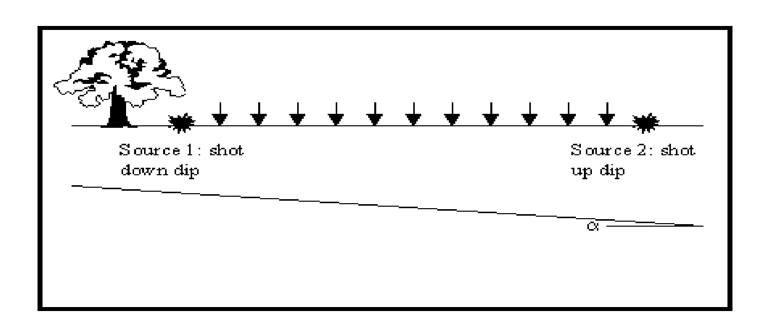


ووضعنا مجموعة من الجيوفونات في خط مستقيم كما هو موضح في الرسم بالأسهم السوداء ... بعد ذلك وضعنا المصدر على يسار الجيوفونات وقمنا بأخذ البيانات .. ثم نقلنا المصدر إلى يمين الجيوفونات وسجلنا البيانات.. وعند مقارنتنا للبيانات المسجلة عن يمين ويسار المستقبلات ،، فكيف تتوقع أن يكون شكلها.. ؟

بما أن الطبقة أفقية .. والمسافات بين المصدرين والجيوفونات متساوية .. فنتوقع أن يكون شكل البيانات كالتالي ..



لاحظ كيف ظهرت البيانات متشابهة لكون الطبقة أفقية وبالتالي فإن عمق السطح الفاصل بين الطبقتين ثابت في جميع النقاط .. ماذا لو قمنا تطبيق التجربة السابقة على أسطح مائلة كما في الشكل التالي ..

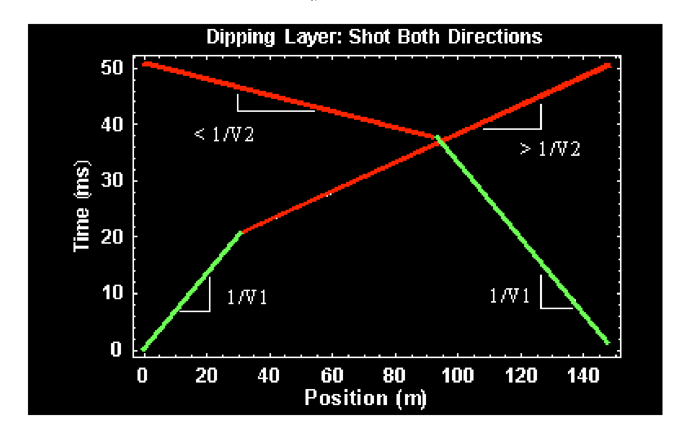


تذكر أنه وعندما يكون المصدر على يمين المستقبلات فإنه وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فستنجد أن السرعة منخفضة بعض الشيء ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات فيحين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر ..

وعندما يكون المصدر على يمين المستقبلات فإنه وإذا أردنا حساب سرعة الطبقة الثانية بحساب ميل الخط الممثل للموجات الرأسية فسنجد أن السرعة too large ، بالإضافة إلى ذلك إذا استخدمنا هذه السرعة لحساب عمق السطح الفاصل

فإننا سنحسب العمق تحت المستقبلات في حين أنه يختلف عن العمق تحت المصدر .. وبذلك سيكون العمق أصغر من العمق الحقيقي... hr

وسيظهر شكل البيانات كما في يلي ..



بذلك يمكننا معرفة ما إذا كانت الحدود الفاصلة بين الطبقات مائلة أو مستوية بوضع المصادر في اتجاهين فإذا ظهرت البيانات متماثلة فهذا يدل على أن الأسطح مستوية أما لو ظهرت مختلفة عن بعضها فهذا يدل على أن الحدود الفاصلة غيرمستوية..

الفصل السادس عشر

الاشعاعات الكهرطيسية و النووية

بنية الذرة:

تتميز ذرة أي عنصر بعددها الذري Z ، و الذي يساوي عدد الالكترونات أو البروتونات ، و بعددها الكتلي A ، و الذي يساوي عدد النيكليونات في النواة (بروتونات + نترونات) و الذي يقدر بالغرامات . و تعتبر الشحنة الإجمالية للذرة معدومة نتيجة لتساوي عدد الشحنات الموجبة و السالبة . و كما تشغل الذرة حيزاً صغيراً من مرتبة الأنغستروم (10 -10 m) ، في حين تشغل النواة حيزاً أصغر بكثير من مرتبة10−15 m (1 Fermi = 10−15 m) .

هذا و قد اعتبر طومسون في بداية القرن العشرين بأن الذرة عبارة عن كتلة مصمتة تسبح فيها الالكترونات السالبة و البروتونات الموجبة بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً .

و قد تم فشل هذا النموذج لعدم كفاءته في تفسير نتائج تشتت جسيماتα عن الذرة لريزرفورد و زملائه .

وعلى الرغم من نجاح نظرية ريزرفورد في إعطاء تفسيراً للتبعثر العكسي و استنتاج أبعاد الذرة و النواة ، إلا أنها لم تستطع تفسير استقرارية الذرة و كيفية ترتيب الالكترونات داخل الذرة ، وكما عجزت عن تفسير الطيف الذري .

و حسب نظرية رذرفورد فإن الالكترون الذي يتحرك على مداره يخضع لحركة متسارعة مما يؤدي لإشعاعه للطاقة و بالتالي يفقد الالكترون طاقته الحركية بشكل مستمر و بالنتيجة تناقص في الطاقة الحركية للالكترون مما يؤدي بالنتيجة لاقترابه من النواة ، و يصبح مداره حلزونياً و بالنهاية يسقط الالكترون على النواة .و هذا ما يناقض الحقيقة التجريبية ، فالذرة تبقى مستقرة و تعطي طيفاً متقطعاً بدلاً من الطيف المستمر .

نظرية بور لذرة الهيدروجين :

صاغ بور في عام 1913 نظرية تمكنت من تفسير استقرارية الذرة ، و نجحت هذه النظرية بالتنبؤ الصحيح عن الطيوف الذرية المتقطعة . و تعتبر هذه النظرية مزيجاً من الفيزياء الكلاسيكية و فرضية بلانك الكمومية ، لذك تسمى النظرية النصف كلاسيكية .و قد نجحت هذه النظرية في تفسير طيف ذرة الهيدروجين ، لأنها بنيت على المسلمات الأساسية الثلاث التالية :

المسلمة الأولى :

يمكن أن يتحرك إلكترون في ذرة حول النواة على مدارات دائرية محددة دون أن يشع طاقة ، و تدعى هذه المدارات بالحالات المستقرة المتقطعة للذرة .

المسلمة الثانية :

إن الحالات المستقرة المسموحة توافق :

$$L = m\,V\,.r = n\,\hbar \quad (7\text{-}1)$$

L : عزم كمية الحركة الزاوي .

$$\frac{h}{2\pi} = \hbar$$

h : ثابت بلانك

n= 1 ، 2 ، 3 ، 4 ، ... و يدعى بالعدد الكمي الرئيسي .

المسلمة الثالثة :

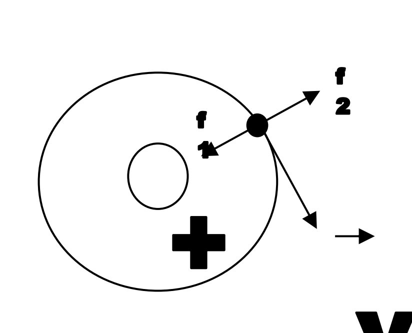
عندما يقفز (ينتقل) الكترون من حالة ابتدائية طاقتها Ef إلى حالة نهائية طاقتها Ei فإنه يصدر إشعاعاً كهرطيسياً (فوتوناً) , و يمكن أن نكتب :

$$E_i - E_f = h\,v \quad (7\text{-}2)$$

مستويات الطاقة في نموذج بور الذري :

بفرض أن الكتروناً مستقر في مدار دائري نصف قطره rn و يمتلك سرعة Vn فتكون قوة الجذب الكهربائية تساوي قوة الجذب المركزية النابذة، و يكون :

$$f_2 = m\frac{V^2}{r} = k\frac{e^2}{r_n^2} = f_1$$



لاحظ الشكل (7-1) .

و لكن من المسلمة الثانية لدينا :

$$m\, V_n\, r_n = n\, \hbar \quad (7\text{-}3)$$

و بالتالي :الشكل(7-1)

$$V_n = \frac{n}{m r_n} \qquad (7-4)$$

وباستخدام العلاقتين الآخيرتين :

$$r_n = n^2 \frac{\hbar}{kme^2} = n^2 r_1 \qquad (7-5)$$

حيث :..., n = 1 , 2 , 3 , $r_1 = \frac{\hbar}{kme^2}$

نصف قطر مدار بور الأول لذرة الهيدروجين .

و لو حسبنا قيمة نصف قطر بور الأول بتبديل قيمة الثوابت k , m , e , h لوجدنا أن :

r1 = 0,528 $\mathring{A}$ و هي توافق القيمة التجريبية .

و عليه فإن الالكترون حسب نظرية بور يوجد في المدارات التالية :

rn = r1 , 4r1 , 9r1 , ...

وباستخدام العلاقتين (7-5) و (7-4) نجد أن :

$$V_n = \frac{1}{n} \frac{ke^2}{\hbar} = \frac{V_1}{n} \qquad (7-6)$$

حيث :

$V_1 = \frac{ke^2}{\hbar}$ سرعة الالكترون في مدار بور الأول.

Vn : سرعة الألكترون في المدار n

إن الطاقة الكلية En للالكترون في المدار (n), تساوي مجموع الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة ، أي أن :

$$En = \frac{1}{2} m V_n^2 + \left(-k \frac{e^2}{r_n} \right) \qquad (7-7)$$

و بتعويض (2) ، (3) في (5) فنجد :

$$En = \frac{-k^2 e^4 m}{2 n^2 \hbar^2} \qquad (7-8)$$

أو:

$$En = -\frac{1}{n^2} \left(\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \right) \qquad (7-9)$$

حيث :

$$En = \frac{E_1}{n^2} \qquad (7-10)$$

حيث :

$$E_1 = \left(-\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \right) = 13.58\, eV$$

إن E1 تمثل طاقة الالكترون في مدار بور الأول لذرة الهيدروجين وهي تمثل طاقة الارتباط .

فمن أجل : n = 1 فإن : E1 = - 13,58 eV

و هكذا يمكن أن نكتب سويات الطاقة المسموحة لذرة الهيدروجين بالعلاقة التالية

En = - E1 , ,......-E1/4:

طيف ذرة الهيدروجين :

باستخدامنا المسلمة III يمكن أن نحسب طاقات و ترددات الإنتقالات المحتملة ، فإذا كان إلكترون في الحالة الابتدائية ذات سوية الطاقة المثارة Ei و انتقل إلى حالة نهائية ذات سوية طاقة Ef فإن طاقة الفوتون الصادر تعطى بالعلاقة التالية :

$$(7\text{-}11)\ h\nu = E_i - E_f$$

و من المعادلة (َ7-9) لدينا :

$$E_i = -\frac{E_1}{n_i^{\;2}} \quad , E_f = -\frac{E_1}{n_f^{\;2}} \qquad (7-12)$$

حيث : $E_1 = \left(-\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \right)$

و بالتبديل بالمعادلة (7-11) نجد أن :

$$\bar{v} = \frac{E_i}{h} - \frac{E_f}{h} = \frac{E_1}{h}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \qquad (7-13)$$

و باستخدام العلاقة ( ) $v = \frac{c}{\lambda}$

فإن العدد الموجيبعطى بالعلاقة التالية : $\bar{v} = \frac{1}{\lambda}$

حيث R ثابت

$$\bar{v} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \qquad (7-14)$$

رايدبرغ و يساوي :

$$R = \frac{E_1}{hc} = 109740 cm^{-1} = 1.0974 \times 10^{-3} \overset{0}{A}^{-1} \qquad (7-15)$$

بينما القيمة التجريبية تساوي : Rexp = (109677,576 + 0,012) cm-1

أي أنه يوجد تطابق بين التنبؤات النظرية و القياسات التجريبية ، كذلك المعادلة (3.2.1) تطابق معادلة رايدبرغ التجريبية من أجل سلسلة بالمر و الموضحة بالمعادلة :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{v} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \qquad (7-16)$$

وذلك بعد تعويض nf = 2 و ni = n و كذلك بتعويض ni = 3,4,5,6,... نحصل على خطوط سلسلة بالمر الطيفية عندما يقفز الإلكترون إلى الحالة النهائية الموافقة لـ nf = 2 .

ومن ناحية أخرى فيمكن إثارة الذرة بعدد من الطرائق ، منها I الإثارة الحرارية أو الإنفراغ الكهربائي للغاز حيث ينتقل الإلكترون إلى الحالات المثارة العليا .

و لأن فترة دوام الحالات المثارة قصيرة جداً من مرتبة 10-8sec ، فإنه عند عودة الإلكترون إلى حالات الطاقة الدنيا يصدر إشعاعاً كهرطيسياً أو فوتونات بترددات متقطعة .

لقد تنبأت نظرية بور بالإضافة إلى سلسلة بالمر بعدد من السلاسل الطيفية الموافقة لقيم مختلفة ل: nf ، و هذه السلاسل قد سميت بأسماء العلماء الذين اكتشفوها كما هو موضح بالشكل

(7-3) ، والذي يبين أن خطوط سلسلة بالمر فقط تقع في المجال المرئي .

و يبين الجدول (7-1) السلاسل الطيفية في مجالات الأشعة فوق بنفسجية و تحت الحمراء .

مما سبق نجد أن نظرية بور قد فسرت بنجاح طيف ذرة الهيدروجين

حد السلسلة	معادلة السلسلة	المجال الطيفي	السلسلة
911.27 A°	$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2})$, n= 2,3,4,...	فوق بنفسجي	ليمان
3645.1 A°	$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$,n = 3,4,5,6,...	مرئي	بالمر
8201.4 A°	$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2})$, n = 4,5,6,7,...	تحت حمراء	باش
14580 A°	$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2})$, n = 5,6,7,...	تحت حمراء	براكيت
22782 A°	$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2})$, n = 6,7,8,...	تحت حمراء	بفوند

الجدول (7-1) : السلاسل الطيفية لذرة الهيدروجين

التفسير الفيزيائي للأعداد الكوانتية :

يوضح حل مسألة ذرة الهيدروجين و وصفها حسب قوانين ميكانيك الكم بأن حركة الإلكترون تحدد بثلاثة أعداد كوانتية

العدد الكمي الرئيسي n :

يحدد العدد الكمي الرئيسي n طاقة الالكترون في الذرة ، بينما يحدد العدد الكمي المداري ℓ قيمة عزم كمية الحركة الزاوي ، و يعين كل من ℓ و mℓ (العدد الكمي المغناطيسي) طويلة والاتجاه الفراغي لمتجهة عزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون L في الذرة .

وتوافق كل مجموعة من القيم (n , ℓ , mℓ) حالة كوانتية معينة . وبالتالي تحدد التابع الموجي والتوزع الاحتمالي للإلكترون حول النواة .

يوضح الجدول (2-7) الحالات الممكنة لـ (n , ℓ, m ℓ) لذرة الهيدروجين ، حيث يوجد من أجل قيمة معينة لـ n ، n2 تابع خاص وكافة هذه الحلول لها الطاقة نفسها و ذلك لأن طاقة الحالة الكمومية تحدد بالعدد الكمي n في النظرية الكمية و نظرية بور .

و تعطى بالعلاقة التالية :

$$En = -\frac{1}{n^2}\left(\frac{\mu k^2 e^4}{2h^2}\right) = -\frac{E_1}{n^2} \qquad (7-17)$$

و نقول إن الطاقة متفسخة إذا وجد أكثر من تابع له الطاقة نفسها .

فمن أجل n = 2 يوجد أربع حالات و أربعة توابع موجية خاصة مختلفة، وتملك جميعها سوية الطاقة نفسها,كما في العلاقة (17-7), ولذلك فمن أجل قيمة معينة لـ n فإن قيماً مختلفة لـ ℓ ، mℓ لها حالة الطاقة نفسها ، وتدعى هذه الحالات بالحالات المتفسخة .

و يمكن تفادي ظاهرة التفسخ عند تطبيق حقل مغناطيسي خارجي على الذرة ، وهكذا فإن كل حالة كوانتية (n , ℓ , mℓ) سوف تملك طاقة مختلفة .

عدد الحلول(n , ℓ , mℓ)من أجل قيمة معينة لـn يساوي (n2) كل حل يدل عليه بالعداد الكوانتية (n , ℓ , mℓ)	mℓ	ℓ	n
1 (1,0,0)	0	0	1
4 (2,0,0)	0	0	2
(2,1,-1) , (2,1,0) , (2,1,+1)	-1 , 0 , +1	1	

الجدول (7-2):يعطي عدد الحالات الممكنة لذرة الهيدروجين والذرات الهيدروجينية

العدد الكمي المداري ℓ :

حسب نظرية ميكانيك الكم نستنتج طويلة عزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون في الذرة من معادلة شرودنغر القطرية (نظرية ميكانيك الكم) :

$$L = \sqrt{\ell(\ell + 1)}\, h \qquad (7\text{-}18)$$

وتختلف هذه القيمة عن القيمة المعطاة في نظرية بور $L = nh$.

فحسب نظرية ميكانيك الكم : تحدد قيمة L بالعدد الكمي ℓ و ليس بدلالة n ، ففي نظرية بور توجد قيمة وحيدة لـ L من أجل كل قيمة لـ n ، بينما يوجد في نظرية ميكانيك الكم n قيمة لـ L من أجل كل قيمة لـ n ، و توافق القيمة العظمى لـL العدد الكمي المداري ($\ell = n - 1$) و الموافقة لمدار بور الدائري .

تتم تسمية للحالات المختلفة لـ ℓ هي كما يلي :

ℓ	0	1	2	3	4
تسمية حالة الإلكترون	s	p	d	f	g
تسمية الحالة الذرية	S	P	D	F	G

فالحالة 1s تعني : $n = 1$ و $\ell = 0$ ، و الحالة 2p تعني $n = 2$ و $\ell = 1$

و كذلك الحالة 2s تعني $n = 2$ و $\ell = 0$، و الحالة 3d تعني :

3 = n و 2 = ℓ ، توافق الحالة 1s : 0ℓ = و بالتالي 0 = Lولا تتفق هذه النتيجة مع نظرية بور حيث لا يوجد مدار عزم كمية حركته الزاوي يساوي الصفر (L = 0) ، لأن هذا يعني أن مسار الإلكترون على شكل مستقيم يمر بالنواة ، و لكن حسب ميكانيك الكم فالحالة الموافقة لـ 0L تعني أن توزع احتمال إيجاد الإلكترون في النواة يساوي الصفر .

العدد الكمي المغناطيسي mℓ :

تعطي مركبة Z لعزم كمية الحركة الزاوي للإلكترون في الذرة بالعلاقة التالية : = Lz mℓ ħ (7-19)

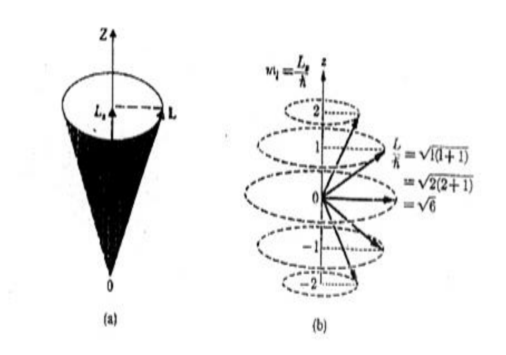
حيث تحدد توجه متجهة العزم الزاوي L في الفراغ ، أي تحدد التكميم الفراغي لعزم كمية الحركة الزاوي L

و تعطى الزاوية θ بين الشعاع L و المحور (منحى الحقل المغناطيسي الخارجي المطبق على الذرة) بالعلاقة التالية :

$$\cos\theta = \frac{m_l \hbar}{\sqrt{l(l+1)}\hbar} = \frac{m_l}{\sqrt{l(l+1)}} \qquad (7-20)$$

و لأن m_ℓ يمكن أن تأخذ ($2\ell + 1$) قيمة فإن شعاع العزم الزاوي L يأخذ ($2\ell + 1$) زاوية دوران في الفراغ .أنظر الشكل (7-4).

أما حسب النظرية الكلاسيكية فيمكن أن تأخذ الزاوية θ أية قيمة في الفراغ.



الشكل (4-7)

و حسب نظرية بور , لا يوجد أي قيد على الانتقالات من سويات طاقة مثارة إلى أخرى أدنى منها , بينما في نظرية ميكانيك الكم فالانتقالات المسموحة هي فقط التي تحقق قانون الاختيار(الانتقاء) من أجل ℓ :($\ell_i - \ell_f = \Delta \ell = \pm 1$) ، بينما الانتقالات التي لا تحقق هذا القانون تكون محظورة (ممنوعة) .

النموذج الشعاعي للذرة :

وجدنا أثناء دراسة الطيوف الذرية أن الأعداد الكوانتية ($n , \ell , m\ell$) غير كافية لتوضيح كافة الظواهر التجريبية الناتجة عن الانتقالات التي تشكل الطيف الذري و تفسيرها ، فمثلاً تم الاعتقاد أن عدد من الانتقالات المسموحة هي أحادية ـ مثل الإنتقال من 2p إلى 1s, و لكن في الحقيقة ، بينت التجربة عن طريقة مشاهدة هذه الخطوط الطيفية بمطياف ذي قدرة تمييز عالية أنها مضاعفة ، أو بتعبير آخر ، هناك بنية ناعمة ، بالإضافة إلى ذلك لا يمكن إحصاء عدد الانتقالات التي يمكن مشاهدتها عندما توضع الذرات تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي Bext .قادت هذه الحقائق التجريبية كلاً من العلماء إهلنبك و غودسميث و بشكل مستقبل بتشوسكي وأوري إلى إعطاء الإلكترون عزماً زاوياً إضافياً ،ووفقاً لهذه النظرية يدور الإلكترون في أية حالة حول نفسه كما هو موضح بالشكل (7- 5 -a) ويملك عزماً زاوياً ذاتياً يدعى بعزم اللف الذاتي و يرمز له بـ S ، يضاف لعزم كمية الحركة الزاوي له L الناتج عن حركته حول النواة ، و شابه هذه الحركة تماماً حركة الأرض حول محورها و حول الشمس .

عزم اللف الذاتي للإلكترون S :

و لتفسير النتائج التجريبية للطيف الذري فإن طويلة شعاع عزم اللف الذاتي للإلكترون S تأخذ القيمة التالية :

حيث : S = 1/2 العدد الكمي للف الذاتي .

$$S=\sqrt{s(s+1)}\hbar=\frac{\sqrt{3}}{2}\hbar \qquad (7-21)$$

و بشكل مشابه لمتجهة العزم الزاوي L تكون متجهة عزم اللف الذاتي S مكممة في الفراغ و تأخذ مركبتها وفق المحور 0z القيم التالية :

$$(7\text{-}22)\ S_Z = m_s \hbar$$

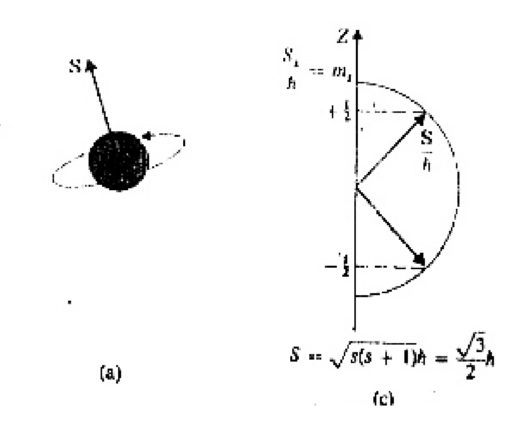
حيث : $m_s = \pm 1/2$ العدد الكمي للف المغناطيسي .

و يوضح الشكل (7-6) حسب الميكانيك الكوانتي تكميم المتجهة S الفراغي ، و من العلاقة المعرفة لـ S .

حيث طويلة $\hbar$. $S = \sqrt{s(s+1)}$.

لا يمكن للشعاع S أن ينطبق على المحور 0z (منحى الحقل المغناطيسي الخارجي) ،

و إن تجربة ستيرن ـ غيرلاش برهان تجريبي لوجود عزم اللف الذاتي للإلكترون .



الشكل (7-5) : عزم اللف الذاتي للإلكترون

يلتف الإلكترون في الذرة حول نفسه و يملك عزم لف ذاتي S .

شعاع عزم اللف الذاتي S المكمم فراغياً وفق اتجاهين متناظرين مكممين بالنسبة لمنحى الحقل المغناطيسي .

العزم الزاوي الكلي J :

يعرف العزم الزاوي الكلي للإلكترون J بأنه مجموع العزم الزاوي المداري L و عزم اللف الذاتي للإلكترون و يساوي :

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \qquad (7-23)$$

و تعطى طويلته بالعلاقة التالية :

$$|J| = \sqrt{J(J+1)}h \qquad (7-24)$$

حيث : J : العدد الكمي للعزم الزاوي الكلي (العدد الكمي الكلي) .

و لأن كلاً من L و S مكممان في الفراغ ، فمن الطبيعي أن يكون الشعاع J مكمماً في الفراغ أيضاًَ و يأخذ قيماً محددة و مكممة .

و يضاف الشعاع S إلى الشعاع L إما بشكل موازٍ و مسايرأو معاكس له ، و هكذا نحصل على قيمتين لـ j :

$$j = \ell + \frac{1}{2}$$

$$j = \ell - \frac{1}{2}$$

وعند وضع الذرة تحت تأثير حقل مغناطيسي خارجي ، يدور الشعاع J حول المحور 0z (منحى الحقل المغناطيسي الخارجي) .

و تتطلب قوانين تكميم الفراغ دوران الشعاع J حول المحور (0z) وفق زوايا مكممة كما هو موضح بالشكل (7-7) .

و تعطى قيم JZ وفق المحور 0z بالعلاقة التالية :

$$JZ = mj\,\hbar \quad (7\text{-}25)$$

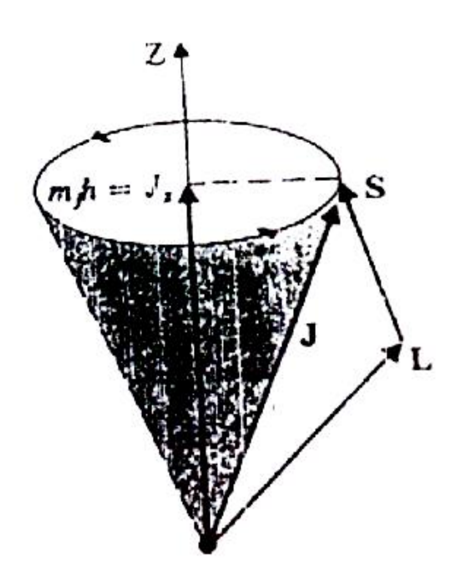
حيث :

JZ : مسقط على المحور و تأخذ mj (2j + 1) قيمة تعطى بالعلاقة التالية :

mj = 0 , ± 1 , ± 2 , … , ± (j – 1) , ± j و تعطى التوجهات الفراغية للشعاع J

التي هي الزوايا الممكنة بين JZ و J بالعلاقة التالية :

$$COS\varphi = \frac{j_Z}{j} = \frac{m_j \hbar}{\sqrt{j(j+1)}\hbar} = \frac{m_j}{\sqrt{j(j+1)}} \qquad (7-26)$$



الشكل (7-7) :

يمثل التكميم الفراغي للشعاع J و التوجهات الممكنة لـ J التي تحقق العلاقة :

$$JZ = mj\,\hbar$$

البنية الدقيقة (الناعمة) لذرة الهيدروجين :

توصف الحالة الأرضية لذرة الهيدروجين بدلالة الأعداد الكوانتية التالية :

$(n = 1 , \ell = 0 , s = \underline{\quad} , j = \underline{\quad}$

و يعبر عن هذه الحالة حسب التسمية الطيفية بالشكل التالي 1S1/2 حيث يشير العدد على يسار الحرف إلى قيمة العدد الكمي الرئيسي n ، ويعبر الحرف عن قيمةℓ، بينما يدل العدد الواقع يمين الحرف على قيمة j .

و فيما يلي نعرض قوانين الاختيار التي وفقها تم الانتقالات المسموحة :

يجب أن تتغير ℓ بمقدار واحد فقط ، أي أن :

$$\ell i _ \ell f = \Delta \ell = \pm 1$$

لا يوجد أي تغيير في قيمة s ، أي أن :

$$si_ sf = \Delta s = 0$$

يجب أن تتغير j بالمقدار 0 أو 1 ، أي أن :

$$j i_ j f = \Delta j = 0 , \pm 1$$

(الانتقال $ji = 0 \rightarrow j f = 0$ غير مسموح) .

ولا يوجد أي قيد في n .

مبدأ الاستبعاد لباولي والترتيب الالكتروني :

لقد نجحت معادلة شرودنغر الموجية في إعطاء حلول صحيحة لذرتي الهيدروجين (Z = 1) و الهيليوم (Z = 2) ، غير أن حلها بالنسبة للذرات الأخرى غير ممكن بسبب الصعوبات الرياضية ، لذلك استخدمت الطرق التقريبية لحلها و التنبؤ بشكل تقريبي بالطيوف الذرية .

لم يضع الميكانيك الكوانتي أي قيد على عدد الإلكترونات التي تشغل حالة كوانتية محددة .

إلا أن العالم باولي قد تناول هذا الموضوع بالاستناد على المشاهدات التجريبية ، مبيناً أن كل حالة كوانتية لا يمكن أن تشغل بأكثر من إلكترون وحيد و صاغ مبدأه في الاستبعاد كما يلي :

في أية ذرة لا يمكن لإلكترونين أن يوجدا في الحالة الكوانتية نفسها ، و هذا يعني : في أية ذرة لا يمكن لإلكترونين أن يملكا نفس قيم مجموعة الأعداد الكوانتية (n , ℓ , mℓ , ms) أو (n , ℓ , mj , j) .

و بناءَ عليه ، تملك الإلكترونات في الذرة حالات كوانتية مختلفة ،و تشكل الإلكترونات ذات العدد الكمي الرئيسي n طبقة رئيسية يرتبط اسمها بـ n كما يلي :

1 : العدد الكمي الرئيسي n	2	3	4
K: اسم الطبقة	L	M	N

و من أجل قيمة معينة لـ n يساوي العدد الكلي للحالات الكوانتية Nt = 2n2 و تمتلء الطبقات كما يلي :

1S2 2S2 2P6 3S2 3P6 4S2 3d10 4P6 5S2 4d10 …

تصنيف الإشعاعات :

يمكن تصنيف الإشعاعات :

حسب طبيعتها : و عندئذ يمكن أن نفرق بين :

الإشعاعات الكهرطيسية (الكهربائية المغناطيسية) والإشعاعات الجسيمية

حسب تأثيرها على المادة ، وخاصة على الأنسجة الحيوية .

وهنا نميز نوعين من الإشعاعات هما: الإشعاعات المؤيِّنة و الإشعاعات اللامؤيِّنة

الإشعاعات الكهرطيسية (المظهر الموجي) :

و هي تصدر عن المادة نتيجة اهتزاز الألكترونات الذرية الداخلية في تركيبها .

و المظهر الموجي يمثل الإشعاع بموجة كهرطيسية تنتشر في الخلاء وفق خط مستقيم و بسرعة C = 3.108 m / sec (أي ثلاثمائة ألف كيلو متر في الثانية) .

و تتميز هذه الموجة المؤلفة من اهتزازين (أحداهما يمثل الحقل المغناطيسي و الآخر تمثل الحقل الكهربائي) ،وذلك بطول موجيλو بتواتر V (و هو يمثل مقلوب الدور T) بحيث :

$$\lambda = \frac{C}{v} \quad (7\text{-}28)$$

و كذلك بعدد موجي K و هو يمثل $\frac{1}{\lambda}$ و كذلك بنبض$\omega = 2\pi v$(التواتر الزاوي) .

وكما يتميز هذا الإشعاع بشدته التي تتناسب مع مربع السعة الاهتزازية .

و يسمح هذا التمثيل بتفسير ظواهر الانتشار دون حدوث تبادل للطاقة بين الإشعاع و المادة (كالانعكاس أو الإنكسار أو التداخل أو الإنعراج) .

المظهر الجسيمي للأمواج الكهرطيسية :

افترض العالم بلانك Planck في عام 1900 ، كي يفسر أطياف إشعاع الجسم الأسود ، بأن الضوء ظاهرة كمومية.أي أن الإشعاع الكهرطيسي يتألف من حبيبات ضوئية تدعى الفوتونات photons ، يحمل كل منهما رزمة من الطاقة تمثل بجسم يدعى الكم quantum .

و من أجل إشعاع تواتره (v (sec –1 ، تعطى طاقة الكم الواحد بالعلاقة :

E = h v (Joul)

h : يمثل ثابت بلانك و قيمته في الجملة الدولية

6,625 × 10 –34 J.S

و يمكن أن نكتب أيضاً أن :

$$E = h\frac{C}{\lambda} \qquad (7-29)$$

و إذا عبرنا عن طاقة الفوتون بالالكترون فولط ev ، حيث :

1 ev = 1,6 ×10 -19 Joul

فنكتب :

$$E(eV) = \frac{12400}{\lambda \ (\overset{0}{A})}$$

ندعو العلاقة الأخيرة بعلاقة دْوان وهنت .

و في عام 1905 اكتشف اينشتاين Einstein المفعول الكهرضوئي photoelectric ، و الذي لا يمكن أن يتم فهمه إلا إذا سلمنا بالمظهر الجسيمي للضوء ، أي أن الضوء يسلك سلوك جسيم محمل بالطاقة ، فيحرر الإلكترون المحتجز في المعدن .

و يحمل قذف الإلكترونات للمصعد في أنبوب مهبطي ، البرهان على عكوسية هذا المفعول(مبدأ توليد رونتجن Rontgen للأشعة السينية عام 1895).

الطبيعة المثنوية للجسيمات المادية (الطابع الموجي الجسيمي) و فرضية دي بروي:

لقد قام كل من العالمين شادويك Chadwick و ريزرفورد Rutherford بإثبات المظهر الجسيمي لمكونات الذرة (الكترون ، بروتون، نترون) .

يمكن أن يرافق هذه الجسيمات المادية ، التي تتميز بكتلة سكونية مختلفة عن الصفر ، تمثيل موجي تطور مع ظهور ميكانيك الكم لكل من شرودينفر و هايزمبرغ (Heisenberg + Schrodinger) .

و يعطى الاندفاع P أو كمية الحركة (impulsion) المرافق لجسيم نسبوي كتلته السكونية m0 بالعلاقة : $P = mV$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \qquad (31-7)$$

حيث:

m0: الكتلة السكونية

V: سرعة الجسيم

C : سرعة الضوء

و تعطى الطاقة الكلية لجسيم حسب علاقة اينشتاين :

$E = mc^2$

و من العلاقة السابقة نجد :

$m^2 c^2 - m^2 V^2 = m_0^2 c^2$

و بشكل آخر :

$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$

و في حالة فوتون تواتره (γ) تصبح الكتلة السكونية معدومة و منه نكتب :

$E = PC$

ومنه نجد :

$$P = \frac{h}{\lambda} \qquad (7\text{-}32)$$

و هذه العلاقة تدعى بعلاقة دي بروي .

و يمكن تطبيق العلاقة الأخيرة على كل جسيم كتلته النسبية m و يتحرك بسرعة

و يتميز بطول موجي λ:

$$\lambda = \frac{h}{m V}$$

هذا و قد تم إثبات إمكانية انعراج حزمة من الالكترونات المسرعة لدى صدمها لصفيحة معدنية كما تنعرج أي موجة ضوئية في البلورات ، حيث يمكن من خلال هذه الدراسة معرفة الأبعاد الشبكية للبلورة المدروسة .

واحدة الطاقة الإشعاعية الالكترون فولت (eV) :

يستخدم الالكترون فولت كواحدة لقياس طاقة الجسيم في الفيزياء الذرية والنووية، حيث يبدو من الصعب التعبيرعنها بالجول أو الارغة erg.

ففي مكثفة مستوية البعد بين لبوسيها و تخضع لفرق في الكمون V (فولت) ، يكون الحقل الكهربائي الناشئ بين لبوسيها :

$$E = \frac{V}{d} \quad (7\text{-}33)$$

فبفرض أن الكتروناً (-e) على تماس مع أحد اللبوسين ، فإنه ينجذب إلى اللبوس الآخر

بقوة قيمتها F: (7-34)

$$F = e.E = e\frac{V}{d}$$

و عندما يصل الالكترون للبوس الآخر فيكون قد اكتسب طاقة حركية تساوي إلى العمل الكهربائي المنجز W :

$$W = \quad f\,d = e\frac{V}{d} \quad d = eV = \frac{1}{2} \quad mV^2$$

و منه :

$$eV = \frac{1}{2} \quad mV^2 \qquad (7\text{-}35)$$

فالالكترون فولط هو الطاقة الحركية التي يكتسبها الكترون مسرّع في حقل كهربائي يولده فرق الكمون قدره فولط واحد .و يستخدم الالكترون فولت (eV) للتعبير عن الطاقة التي يحملها الإشعاع الكهرطيسي رغم تجرده من الكتلة و الشحنة .

و نجد بسهولة من العلاقة : $\lambda = \dfrac{hC}{E}$

أن الفوتونات ذات الطاقات 1 eV و 1 keV و 1 MeV لها الأطوال الموجية التالية على الترتيب 1,24 μ m(منطقة الشعة تحت الحمراء) ،12,4 Å(منطقة أشعة X) و0.0124A (منطقة أشعة γ) .

الإشعاعات المؤينة و اللامؤينة :

تختلف الإشعاعات من حيث تأثيرها على المادة ، و هذا أمر يهم البيولوجي ، فهناك إشعاعات مؤينة تكون طاقتها كافية لانتزاع الكترون من بنية جزيئة بيولوجية .و تعطى طاقة التأين بالعلاقة :

$$U = E_{\infty} \quad - \quad E_i \qquad (7-36)$$

حيث:

U : طاقة التأين

E i : طاقة الالكترون في مداره .

E_∞ : طاقة الالكترون في اللانهاية .

أما الإشعاعات التي لا تستطيع أن تفعل ذلك فتسمى لا مؤينة .

إن طاقة التأين الخاصة بأهم الذرات بيولوجياً هي :

N : 14,24 eV , O : 13,57 eV , H : 13,58 eV , C : 11,24 eV

و نلاحظ أن هذه الطاقات لها مرتبة طاقة تأين الهيدروجين نفسها .

و لأن فوتونات الإشعاع فوق البنفسجي الأكثر فعالية ($\lambda = 0,1\ \mu m$) ذات طاقة تساوي :

12.4 eV=hv

أي من مرتبة طاقة تأين الهيدروجيننفسها .لذا فإننا نسمي إشعاعاً لا مؤين ، كل إشعاع كهرطيسي تقل طاقته عن 13,6 eV أي الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء و الأمواج الراديوية جميعها أشعة لا مؤينة .

أما الإشعاعات (X و γ) فهي بالطبع مؤينة .

الاشعاعات غير المؤينة:

تحتل الإشعاعات غير المؤينة مجالاً واسعاً من الأطوال الموجية في طيف الأشعة الكهرطيسية، وهي لا تقوم بتأيين المادة إلا في بعض الحالات الخاصة .

و هنا لا بد من الإشارة إلى الأثر الكهرضوئي ، إذ يمكن للأشعة فوق البنفسجية أو المرئية انتزاع الكترون من بعض البللورات المعدنيةأو بللورات أنصاف النواقل ، و يستعمل هذا الأثر الكهرضوئي مبدأ لعمل الخلايا الكهرضوئية للكشف عن هذه الإشعاعات .

و يعتبر الإشعاع الليزري الذي ينجم عن تضخيم الإشعاع ذا أثر مؤين جيد عندما يكون قوياً .

منشأ الإشعاعات غير المؤينة :

ينجم عن تهييج الكترونات المادة المشعة التي تبث نتيجة لذلك بشكل مستمر(أشعة تحت الحمراء: ومجال أطوالها الموجية من800 وحتى1ملم) .

و يبث كل جسم إشعاعات تقابل درجة حرارته ، و عند تسخين الجسم فيصدر تباعاً :

إشعاعاً غير مرئي (أشعة تحت حمراء) .

إشعاعاً مرئياً (400 ÷ 800 نانو متر (nm)) .

إشعاعاً مرئياً أزرق في حال عدم تبخر الجسم و وصوله لدرجة حرارة كافية (كالنجوم) .

إشعاعاً فوق بنفسجي غير مرئي (كالشمس) .

و يصدر جسم الإنسان أشعة تحت حمراء تمت دراستها بطرائق التصوير الحراري (دراسة المخططات الحرارية) و يختلف طيف هذه الإشعاعات تبعاً لدرجة حرارة الجسم .

ونتيجة لإعادة توازن مستويات طاقة الالكترونات في الذرات والجزيئات المحرضة .

يمكن أن ينتج التحريض بدرجة حرارة منخفضة عن طريق التألق الضوئي (كالفسفرة أو الفلورة) .

و يمكن الحصول على الإشعاعات غير المؤينة المستعملة في الأغراض الطبية باستخدام مصابيح الانفراغ الكهربائي أو مصابيح الزئبق .

خواص الأشعة غير المؤينة ز تأثيراتها الحيوية :

يمكن لهذه الأشعة أن تولد ثلاث ظواهر لدى اصطدامها بالمادة ، فإما أن تمتص هذه الأشعة أو تعكسها أو تنفذ من خلالها .

تهتم هذه الدراسة بالنتائج الخطرة الناجمة عن التعرض لكمية ضعيفة من هذه الإشعاعات .

وعلى مستوى الجزيئات ، فتمتص بعض المواد كالبروتينات والأحماض النووية بعض الإشعاعات فوق البنفسجية ، و ينتج عن ذلك انخفاض الأثر الإنزيمي للبروتينات و تتوقف عملية انفصال السلاسل في تناسخ الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين (DNA) مما يؤدي إلى حدوث الطفرات Motation .

و على المستوى الخلوي، يعتبر اختراق الأشعة سطحياً جداً ، ويحدث في الجلد والقرنية والعضويات الدقيقة ، وأوراق النباتات ، ولا يمتص الماء الإشعاعات التي يزيد طول موجاتها على 185 nm .

كما يُظهر طيف نشاط الأشعة فوق البنفسجية ذروتين عند الموجة 245 نانومتر و الموجة 295 نانومتر ، و تعد هاتان الموجتان الأخيرتان اللتان تمتصان من قبل الأدمة هما الأكثر خطورة على الإنسان و هما تسببان الطفح الجلدي ، و ضربة الشمس و آثارها في الجلد ، و لا يكون أثرها مباشراً ، بل قد يحدث بعد فترة مما يزيد من خطورة الحالة و من ناحية أخرى ، تتيح الأشعة فوق البنفسجية إمكانية تركيب فيتاميني D3 و D2 و كما لهذه الأشعة أيضاً تأثير فعال في عملية استقلاب الكالسيوموالفوسفور و الكبريت عند الإنسان مما يمنحها دوراً علاجياً ضد الكساح .

الأشعة λ = 265 nm تتمتع بفعالية شديدة ضد البكتيريا وفي تعقيم الهواء .

الأشعة λ = 300 nm لها آثار مسرطنة للأنسجة الحية .

يمكن أن يسبب الضوء أو النور الساطع فقدان الرؤية الآنية على الأقل، فضلاً عما تسببه من التهابات للقرنية و احتراقها و بخاصة لدى تعرضها للأشعة فوق البنفسجية .

تزيد بعض المركبات الدوائية كالأنسولين و الدرينالين من حساسية الجسم تجاه هذه الشعة و خاصة موجاتها الأقصر من 320 nm .

لذا يجب على الأشخاص الذين يستخدمون هذه الأدوية عدم التعرض للأشعة فوق البنفسجية .

تستخدم أشعة UV لعلاج الأمراض الجلدية : حب الشباب ـ الصدف ـ التقرحات الجلدية و الجروح .

و الضوء المرئي ذو مجال ضيق يضم الأشعة الكهرطيسية التي تتراوح أطوال أمواجها بين (380 ـ 780 nm) و التي تستقبلها عيون الأحياء لتعطي بدورها الإحساس بالإبصار نتيجة لاحتواء مستقبلات شبكية العين على بروتينات صباغية (كالرودبسين) الحساسة للضوء ، و تتفكك هذه البروتينات الصباغية عند تعرضها للضوء إلى مركباتها المكونة فتطلق سلسلة العمليات المؤدية للإبصار .

ومن المعلوم أن للضوء المرئي أثراً فعالاً في اليخضور الموجود في الكلوروبلاستات الموجودة في الأوراق الخضراء ، حيث يقدم الضوء الممتص من قبل المراكز الضوئية الخاصة الطاقة اللازمة لتركيب السكريات في النباتات الخضراء. و يمتص النسيج الحي الأشعة تحت الحمراء

فتولد حرارة بعد امتصاصها وتنتقل هذه الحرارة من السطح إلى العمق و إلى محيط النسج المعرضة لها ، و يسبب انتشار الحرارة عن طريق السوائل الحيوية إلى تسريع المبادلات الخلوية . وكما تظهر من جراء التعرض للأشعة التحت الحمراءلطفح جلدي، واذا كانت الجرعة كافية فتتكون تصبغات لا تلبث أن تزول فيما بعد، و إن تكرار التعرض للأشعة يثبت التصبغ آنف الذكر، وإذا كانت جرعة الأشعة كبيرة تسببت في حروق المنطقة المعرضة لها .

يشعر المريض بالألم حين ترتفع الحرارة إلى ما بين 42ـ 43 درجة مئوية و يزداد الدوران الموضعي لتوسع الشعيرات الدموية ، و يستفاد من ذلك للعلاج في حالات التشنج العضلي أو الاحتقان ، و تزيد هذه الأشعة من قدرة الكريات البيض الدفاعية، كما تتمتع الأشعة تحت الحمراء كذلك بفعل مسكن .

التطبيقات في مجال التشخيص :

إن دراسة الأشعة تحت الحمراء التي يبثها الجسم تتطلب أولاً تحديد حرارته و تغيراتها ، و تؤدي دراسة توزع حرارة سطوح الجسم إلى وضع مخطط حراري له يتضمن طاقة الأشعة تحت الحمراء التي يبثها الجسم

يعد ارتفاع الحرارة (سواء أكان موضعياً أم عاماً) بمقدار 1,5 ـ 2 درجة مئوية ، عاملاً تشخيصياً هاماً ، و يعود ارتفاع درجة الحرارة إلى نشاط الأوعية أو الخلايا أو الالتهاب (منطقة نمو أو ترميم أو ورمأو اضطرابات مفصلية التهابية أو انتانات أو غيرها) .

الليزر كإشعاع غير مؤين وتأثيراته :

إن الليزر ، هو بلا شك ، من أهم ابتكارات هذا القرن ، و كلمة الليزر LASER مشتقة من الحروف الأولى للعبارة الانكليزية :

Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation

و التي تعني ((تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للإشعاع)) .و أينشتين Einstein هو أول من وصف الإصدار المحثوث على أسس نظرية في عام 1917 . و قد حصل T.H.Matman على أول ليزر (ياقوتي) في الولايات المتحدة و بدأ بتشغيله في تموز 1960

المبادئ الأساسية لعمل الليزر :

الامتصاص و الإصدار التلقائي :

الامتصاص :

يمكن للالكترونات التي تدور حول نواة ذرة معينة أن تشغل مدرارات مختلفة ، مواقعها محددة تماماً ، كما أن انتقال الإلكترون من مدار إلى آخر أكثر بعداً عن النواة يترافق بازدياد للطاقة الداخلية للذرة . يطلق اسم الحالة الأساسية على الحالة التي توافق النهاية الصغرى للطاقة ، أما الحالات الأخرى ذات الطاقات التي تزيد عن الحالة الأساسية فيطلق عليها اسم ((الحالات المثارة)) ،

والانتقال من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة(أو من حالة مثارة إلى أخرى طاقتها أعلى) يترجم بامتصاص للطاقة من خارج الذرة ، يمكن أن تكون طاقة الإثارة هذه حركية (صدمات الجسيمات أو الذرات أو الجزيئات ...) أو كهرطيسية ، في هذه الحالة الأخيرة ، تمتص الذرة الإشعاع الساقط عليها جزئياً أو كلياً .

و من المعروف أن الطاقة التي يحملها فوتون معين تعطى بالعلاقة :

$$E = h \nu$$

حيث :(ν) : تواتر الإشعاع الكهرطيسي المرافق للفوتون .

(h) : ثابت بلانك و يساوي 6,62 × 10–34 Joule . sec

يخضع امتصاص الذرة (أو الأيون أو الجزيء) للطاقة الكهرطيسية للعلاقة :

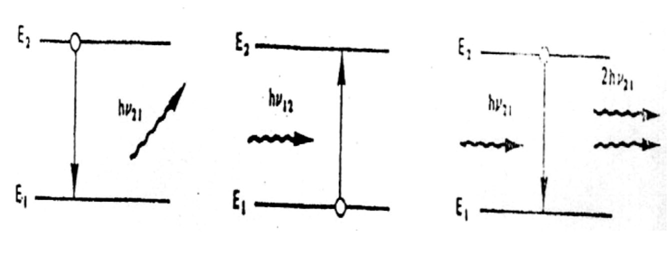
$$E2_ E1 = h\nu$$

حيث : E1 : مستوى الطاقة الابتدائي في الذرة

و E2>E1: هو مستوى الطاقة الذي تُنقل إليه بعد امتصاص الفوتون ذي التواتر (ν) .

الإصدار التلقائي :

يمكن للذرة المثارة أن تفقد تلقائياً الطاقة المكتسبة و ذلك بالسقوط إلى مستوى أخفض و تتحول إلى طاقة حركية مثلاً من خلال الاصطدامات و بالتالي تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة .



الشكل رقم (7-8)

كما يمكن أن يـؤدي فقـدان الطاقة إلى إصدار إشعاع كهرطيسي يخضع لعلاقة الامتصاص نفسها: $\Delta E = h\nu$

حيث :

(ΔE)- يمثل الطاقة التي تفقدها الذرة , (ν) - تواتر الإشعاع الصادر .

و هذا الإصدار التلقائي للإشعاع أو الفلورة لا يحدث في آن واحد في سائر المراكز المثارة ، و يتناسب عدد الذرات التي تظل مثارة بعد مرور مدة معينة t طردياً مع $e^{-t/\tau}$،

حيث

(τ) ثابت يتعلق بالذرة المثارة و بالموجة الصادرة و يطلق عليه اسم ((عمر الحالة المثارة)) ، و يمكن أن يتغير من الثانية إلى جزء من النانو ثانية .

والإصدار التلقائي غير مترابط ، فكل ذرة تصدر بشكل مستقل عن الذرات الأخرى ، في أية لحظة و خلال مدة قصيرة جداً ، و ليبس ثمة علاقة بين هذه الإصدارات من حيث الطور أو الاتجاه أو الاستقطاب ، والإشعاع يصدر في جميع الاتجاهات ، بتواتر ثابت يتحدد بالفاصل بين مستويي الطاقة اللذين يحدث الهبوط فيما بينهما. و تتغير قيمته قليلاً بمفعول دُبلر ، نتيجة للحركة العشوائية لمراكز الإصدار و التي ترتبط بالتهيج الحراري ، فيخضع الخط الطيفي في هذه الحالة إلى توسع (عرض دبلر) يرتبط بشروط الحرارة و الضغط .

الإصدار المحثوث للإشعاع :

إن ظاهرة الإصدار المحثوث آينشتين نظرياً في عام 1917 توافق كما في حالة الإصدار التلقائي ، تحرير فوتون من ذرة معينة مثارة عند هبوطها إلى مستوى طاقي أخفض .

يُعطى تواتر الإشعاع أيضاً بالعلاقة :

$E2_ E1 = h\nu$

غير أن هذا الإشعاع لم يعد تلقائياً ، و إنما يتحرض بوصول فوتون طاقته تساوي الطاقة التي يمكن أن تتحرر من الذرة بعد هبوطها إلى المستوى الأخفض .و بتعبير آخر :يجب على الفوتون المحرَض أن يكون له تواتر الفوتون الذي يحرّض إصداره (الشكل 7-8) يتمتع هذا الإصدار بخواص مهمة أهمها أن الإشعاعات المحرَضة والمتحرّضة لها الطور نفسه و الاتجاه نفسه و الاستقطاب نفسه ، و ليس ثمة فرق فيزيائي ممكن بين الفوتون المحرّض و الفوتون المتحرض و ما يحدث كما لو أن الضوء قد تضخم فعلاً بالإصدار المحثوث للإشعاع و هذا هو تفسير المصطلح " ليزر " .

لنفحص الآن الشروط التي يمكن أن يحدث ضمنها الإصدار المحثوث:

لنفترض N ذرة ذات مستويين ممكنين للطاقة ، N1 ذرة في الحالة الأساسية E1 ، و N2 في الحالة المثارة E2 (E1>E2) ، و عند التوازن الحراري يخضع توزع هذه الذرات لقانون بولتزمان Boltzman .

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp - \left[\frac{E_2 - E_1}{KT} \right] \qquad (37-7)$$

(k) ثابت بولتزمان k = 1,38 × 10-23 Joule / deg

و(T) درجة الحرارة المطلقة للوسط المعتبر T = t + 273,15

لنحسب مرتبة هذا التوزع :

لنفرض أن $T = 300\ ^{o}K$ و أن $E2 _ E1 = h\nu$ يوافق الطول الموجي $1\ \mu\ m$ (في الإصدار أو الامتصاص) .

أي : $\nu = 3 \times 1014\ Hz$.

فنجد بسهولة أن :$N2 / N1 - \# e\text{-}48 = 1,4 \times 10\text{-}21$

أي لا يوجد عملياً ذرات في الحالة المثارة في جسم في حالة توازن حراري عند الدرجة العادية من الحرارة للوسط المحيط ، وإن أي إشعاع وارد احتمال تحريضه للإصدار المحثوث قريب جداً من الصفر واحتمال امتصاصه قريب جداً.

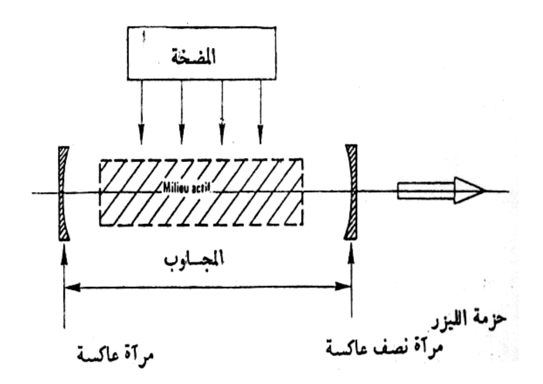
من الواحد، و لكي يكون احتمال حدوث أي من الأمرين مساوياً 1/2، فإنه يجب أن يكون$N2 = N1$ و بالتالي يجب أن تكون درجة الحرارة لا نهائية، وللحصول على إصدار محثوث كبير يجب أن يكون$N1>N2$ وهذا ما يمكن تحقيقه خارج مجال التوازن الحراري ، في حالة إثارة خارجية يطلق عليها اسم " الضخ " pumping .

العناصر التي يتكون منها الليزر :

الليزر منبع للطاقة يلجأ فيه الفوتون الصادر عن ذرة مثارة إلى استخراج الطاقة من الذرات المثارة الأخرى مولداً بذلك فوتونات أخرى ، فيتزايد بذلك اتساع الحقل الكهرطيسي الأصلي ، و لذلك يجب توافر عدد كبير من الذرات المثارة تكون قادرة على الإصدار بالحث ،

و هذا يتطلب، كما في حالة أي متذبذب oscillator ، ثلاثة عناصر في آن واحد(الشكل 9-7) :

الوسط الفعال actif medium- المضخة التي تؤدي إلى قلب التوزع الإسكاني - حجرة التجاوب perot-fabry أو المجاوب resonator .



الشكل رقم (7-9)

الرسم التخطيطي لمبدأ الليزر

الوسط الفعال (القاعدة الذرية للجملة) :

وهو وسط يملك بنية ملائمة ذات مستويات طاقية منفصلة تثار بسهولة و تملك القدرة على خزن الطاقة المستقبلة من الخارج .

يحدث إصدار الليزر عند طول موجي محدد عن طريق حالتين للطاقة في هذه البنية ، عقب انتقال للجملة تبدي فيه إصداراً تلقائياً يوافق عمراً طويلاً نسبياً للمستوى الأعلى (حالة شبه مستقرة) .

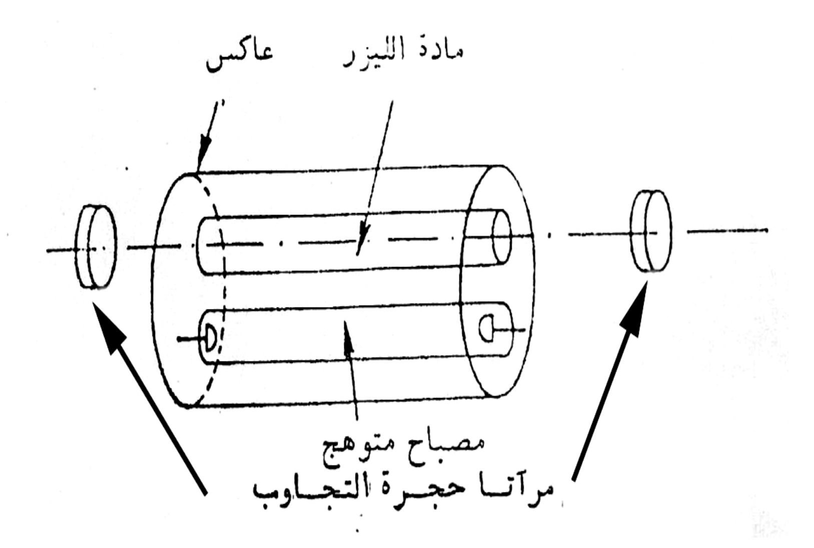
يمكن للمادة الفعالة أن تكون جسماً صلباً، كما في حالة الياقوت وهو بلورة من الألومين تحوي أيونات الكروم الثلاثية التكافؤ بنسبة من مرتبة 0,05 % ، وهي الأيونات الفعالة في اتجاه الإصدار المحثوث ، يستخدم كذلك كمادة فعالة الزجاج المشوب بأيونات النيوديوم ، أيضاً يشيع استخدام مادة فعالة ثالثة في الليزرات الصلبة و هي الياغ YAG (Yttrium Aluminium Garnet) أي عقيق الإتريوم و الألمنيوم المشوب بالنيوديوم .

يمكن للمادة الفعالة أن تكون كذلك سائلاً أو غازاً ، و في هذه الحالة توضع في وعاء يكون جداران متقابلان فيه شفافين و مستويين ، والليزرات السائلة ما تزال حالياً في مجال مختبر البحث ، أما الليزرات الغازية فهي ، على العكس ، كثيرة الانتشار، يمكن أن نذكر أساسياً ليزر الهليوم ـ النيون (مزيج من الهليوم والنيون) وغاز ثاني أكسيد الكربون و الرغون المؤيّن، و الكربتون المؤيّن .

المضخة (وسيلة الضخ) :

و هي مصباح متوهج ، في حالة الليزرات النبضية التي تُضخ ضوئياً، يمكن أن يكون المصباح المتوهج خطياً كما في حالة(الشكل 7-10) أو حلزونياً يحيط بجسم الليزر . تملك بعض الليزرات عدة مصابيح متوهجة خطية حول جسم الليزر .

تتكيف بعض المواد الليزرية (ياغ مثلاً) مع استطاعة ضخ لحظية أضعف من استطاعة المصباح المتوهج ، و يمكن أن تضخ بصمامات إصدار مستمر (كالقوسالكزينونية مثلاً) و أن تعطي إصداراً ليزرياً مستمراً ، أخيراً تحاط جملة المضخة وجسم الليزر بعاكس شكله مناسب .



الشكل رقم (7-10)

يستخدم في الليزرات الغازية الانفراغ الكهربائي في الغاز نفسه كوسيلة ضاخة ، و في هذه الحالة تختلف بنية الليزر .

المجاوب - الاستجابة الضوئية:

كنا حتى الآن نفترض وسطاً فعالاً يتمتع بإمكان تضخيم إشعاع تواتره مناسب لدى دخوله فيه ، إن مثل هذا الوسط لا يمكن أن يصبح مقر تذبذب كهرطيسي مستقر ، و لكن إذا وضع مثل هذا الوسط المضخم في حجرة تجاوب ضوئي و متكيّفة مع التواتر (ν) فإن حلقة الاستجابة الضوئية تحرض ظهور تذبذب بالتواتر نفسه طالما أن الربح الضوئي للوسط يتجاوز ما تفقده هذه الحجرة ، و هذه الظاهرة تماثل حلقات الاستجابة أو التغذية الراجعة في المتذبذبات الإلكترونية .

يحصل على هذه الاستجابة بصنع مجاوب ضوئي مكون من مرآتين عاليتي الانعكاسية متوازيتين و موضوعتين وجهاً لوجه : إن هاتين المرآتين تدفعان الموجة الكهرطيسية في دورات عديدة من الذهاب و الإياب في الوسط الفعال ، فتضخمان بذلك الحقل الكهرطيسي في الحجرة ،

و يتم اقتران الليزر ضوئياً بالخارج بجعل إحدى المرآتين نصف شفافة أو بإحداث فتحة في إحدى المرآتين ، وهذا الاقتران يشكل فقداً مفيداً لا بد منه .

و من شروط التجاوب أن يكون البعد بين المرآتين مضاعفاً صحيحاً لنصف الطول الموجي

خواص إشعاع الليزر :

إن إشعاع الليزر يتميز بترابط coherence أمواجه نتيجة للإصدار المحثوث ولوجود حجرة التجاوب، كما يتصف بشدته وتوجهيته directivity و وحدانية لونه monochromaticity ، و هو يصنف كمنبع للإشعاع الضوئي ضمن الإطار العام لطيف الإشعاعات الكهرطيسية ، ولفهم الفارق الكبير بين إشعاع الليزر و إشعاع أي منبع ضوئي تقليدي لا بد من المقارنة بين خواصهما الموافقة .

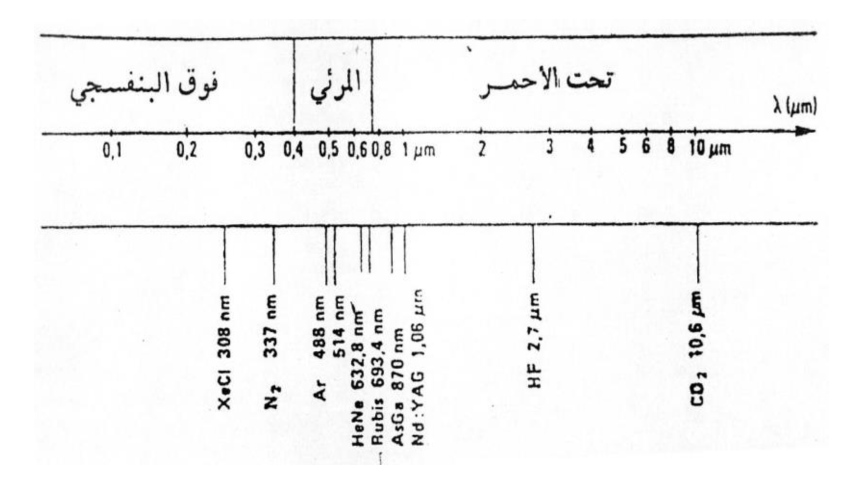
و يبين الجدول (7-3) مقارنة بين الخواص الطيفية لمصباح الزئبق و الخواص الطيفية لليزر الأكثر شيوعاً و هو ليزر الهليوم ـ النيون .

و ليس لهذه المقارنة أي دلالة إلا إذا أخذنا في الحسبان كلاً من الزاوية الصلبة التي يجري ضمنها الإصدار و العرض الطيفي للإشعاع الصادر و لهذا فإن المقدار الطاقي التمثيلي في هذه الحالة هو التألق الطيفي أو السطوع ، فيتأكد حينئذ أن سطوع ليزر الهليوم ـ النيون الذي تقل استطاعته بمئة ألف مرة عن استطاعة مصباح الزئبق أكبر بمقدار 10 7 منه في حالة الزئبق .

	مصباح بخار الزئبق التقليدي	ليزر الهليوم - النيون
الطول الموجي λ	5460 nm	632,8 nm
الاستطاعة ρ	100 W	1 m W
الشريط الطيفي $\Delta\lambda$	$\approx$ 10 nm	2 × 10-3 nm
زاوية الإصدار الصلبة (ستراديان)	$\delta\Omega = 4\pi$	$\delta\Omega \cong$ 10-6
التألق الطيفي I λ	1 W/cm2 . Sr . nm	5 × 107 W/cm2.Sr.nm

الجدول (7-3) يوضح مقارنة بين الخواص الضوئية لمنبع ضوئي تقليدي و ليزر معروف يرجع هذا الأمر إلى حقيقة أن الإصدار الليزري يحدث وفق شريط تواتري ضيق جداً وإن أهمية الليزرات كافة تتركز في الواقع، حول شدة هذه النقاوة الطيفية يضاف إليها خاصية مكانية أساسية تميز توجيهية الإشعاع ، فتباعد حزمة الليزر ضعيف جداً, إذ أن الزاوية الصلبة التي يحدث ضمنها الإصدار صغيرة جداً، و تقدر بالمكروستراديان microsteradians.

إن المجال المفيد من طيف الإشعاعات الكهرطيسية والذي يصدر ضمنه معظم الليزرات يمتد من المجال تحت الأحمر المتوسط (10 µ m) إلى فوق البنفسجي القريب 200 nm ، ثمة أجهزة تعمل خارج حدود هذا المجال ولكنها أجهزة مختبرية ، يبدي (الشكل 11-7) في هذا الجزء من الطيف المواقع الموافقة لأطوال أمواج إصدار أكثر الليزرات المتوافرة في السوق شيوعاً و نخص منها :



الشكل رقم (11-7)

أنواع الليزر :

الليزر الكربونيCO_2 ($\lambda = 10,6\ \mu m$) : و هو ليزر جزيئي ، يصدر وفق النظام المستمر أو النبضي .

ليزر فلور الهدروجينHF ($\lambda = 2,7\ \mu m$) : و هو ليزر كيميائي يعمل وفق النظام المستمر أو النبضي ، يعتمد على تفاعلات كيميائية من شأنها تشكيل جزيئات موجودة في حالتها المثارة مباشرة .

ليزر النيوديوم (Nd) الواقع عند تحت الأحمر القريب ($\lambda = 1,06\ \mu m$) : و هو ليزر مكون من عازل مشوب يعمل أساسياً وفق النظام النبضي ، يمكن أن يكون القالب بلورياً

(YAG) أو زجاجياً (الزجاج المشوب) .

ليزر زرنيخ الغاليومAs Ga : و هو ليزر نصف ناقل يصدر عند تحت الأحمر القريب بين 850 و 900 nm وفق النظام المستمر .

ليزر الياقوت ($\lambda = 694,3$ nm) : و هو ليزر عازل مشوب يعمل وفق النظام النبضي في المجال المرئي (الأحمر) .

ليزر الهليوم ـ النيون (He _ Ne) : و هو ليزر غازي يصدر باستمرار في المجال الأحمر عند الطول الموجي λ = 632,8 nm .

الليزر الصباغي: وهو ليزر يمكن تكييفه تواترياً في كامل المجال المرئي (700 nm _ 400 nm) و يصدر باستمرار أو بشكل نبضي .

ليزر الأرغون : و هو ليزر مؤيّن يعمل وفق النظام المستمر وفق عدة خطوط مرئية ، يقع الخطان الأكثر شدة عند λ= 442 nm (الأزرق) وλ = 514 nm (الأخضر) .

ليزر الهليوم ـ الكادميوم (He _ Cd) : و هو ليزر بخار معدني ، يصدر في منطقة الأزرق ، عند الطول الموجي λ = 442 nm (الأزرق)

ليزر الآزوتN_2 : و هو ليزر فوق بنفسجي نبضي يصدر عند الطول الموجي 337 nm

ليزرات الإكسايمرExcimer (excited dimer و يعني معقداً ثنائياً مثاراً) ، و هي طائفة جديدة من الليزرات الجزيئية النبضية فوق البنفسجية، و أكثر ما يمثلها ليزر المعقد المثار المكون من كلور الزينون (Xe Cl) ويصدر عند الطول الموجي λ = 308 nm .

التفاعل بين ضوء الليزر و النسج الحيوية(الامتصاص الانعكاس ، الانتثارو النفوذية):

عندما يسقط ضوء الليزر على المادة الحية فإما أن يُمتص فيهاأو ينعكس عنها أو ينتثر فيها أو ينفذ منها .

و في الحالة التي يحدث فيها امتصاص للضوء فإما أن يعقب ذلك إشعاع للفلورة أو أن تتدخل آليات أخرى من شأنها إتلاف الخلايا كالمفعول الحراري أو الفوتوكيميائي أو القطع الضوئي أو الكهربائي أو الميكانيكيأو الكمومي ، و بقدر ما يكون امتصاص النسيج للضوء شديداً يكون عمق اختراقه أضعف و آثاره أكثر سطحية .

هذا و إن مكونات المادة الحية تختلف في امتصاصها للضوء بحسب الطول الموجي ، فالماء الذي يدخل في تركيب الجسم بنسبة كبيرة يمتص بشدة في المجال فوق البنفسجي البعيد (أقل من 200 nm) و في تحت الأحمر البعيد (بدءاً من 1,3 μ m أي 1300 nm) .كما تتميز الجزيئات العطرية الحلقية في البروتينات و الحموض النووية بامتصاص أعظمي في المجال الواقع بين260 وnm 280 و لهذا فإن عمق اختراق أضواء الليزر فوق البنفسجي و تحت الأحمر في النسج ضئيل جداً .

تعود حمرة الدم إلى شدة امتصاص الهموغلوبين في مجالات الأزرق والأخضر والأصفر .أما فيما يتعلق بالميلانين ، وهو الصباغ السائد في البشرة ، فهو يمتص في مجال واسع يميد من فوق البنفسجي إلى تحت الأحمر القريب .

أما الضوء الواقع بين 600 nm و1300 فتخامده في النسج الحيوية ضئيل جداً ، و تكون شفافية الجسم أكبر ما يمكن عند الطول الموجي 1000 nm .

إن تفاعل الضوء مع النسج لا يقتصر على الامتصاص ، فالضوء يمكن أن ينعكس عن النسج ، أو ينتثر في جميع الاتجاهات ، فعندما تسقط حزمة ليزرية على نسيج حيوي ، ينعكس عنه جزء صغير من الضوء يقدر بنحو 5 % .

إن معظم حزمة الليزر يخترق النسيج حيث يمتص جزئياً و ينتثر جزئياً ، و إن امتصاص الضوء في المجالين فوق البنفسجي و تحت الأحمر، كما رأينا شديد و عمق اختراقه ضعيف جداً .

و إن انتثار الضوء بشدة في النسج و في الاتجاه كافة بين الطولين الموجيين 600 nm و 1300 nm هو السبب الذي يضعف امتصاصها له كما يؤدي إلى عتامتها بحيث لا يتجاوز عمق اختراقه لها بضعة ملمترات ، و في حالة الضوء المرئي الذي يقل طوله الموجي عن 600 nm يتضافر الامتصاص مع الانتثار ليعطي عمق اختراق أقل من الملمتر يسبب امتصاص الجزيئات الحيوية للفوتونات الضوئية تغيرات شديدة فيها و من هذه التفاعلات :

التفاعل الحراري :

إن هذا المفعول يتعلق بامتصاص النسيج المعرض للإشعاع بشكل إجمالي للطاقة الضوئية ، وهو التفاعل الأكثر شيوعاً وفائدة بين طرائق العلاج الليزرية ، فالجزيئات المثارة بفوتونات حزمة ليزرية تفقد إثارتها بعمليات لا إشعاعية تتحول فيها الطاقة الضوئية إلى حرارة ترفع درجة حرارتها موضعياً ، وعندما يشعع نسيج معين بحزمة ليزرية مبأرة يشرع الماء فيه بالغليان ثم يتفحم (عند نحو 200 مْ) ، في حين يتخثر الدم في المنطقة المجاورة ، و قد استخدمت عدة ليزرات في هذا النوع من طرائق العلاج الحرارية .

إن ليزر غاز الكربون الذي يصدر عن الطول الموجي تحت الأحمر البعيد 10,6 μ m يعد من أكثر الليزرات فعالية في الجراحة نظراً لأنه يمتص بسهولة من قبل النسج، فهو يسهم في نزع بعض الناميات (الزوائد) في الأنف والحنجرة أو الكبد أو المناطق النسائية بفقدان للدم أقل بكثير منه في حالة التداخل الجراحي التقليدي بفضل قدرته التخثيرية ، فضلاً عن أن المنطقة المتخثرة رقيقة نظراً لأن الحزمة لا تخترق النسيج المشعع إلا سطحياً .

تستخدم الليزرات المرئية، كالليزرات الأرغونية (الأزرق ـ الأخضر) و الكربتونية (الأحمر) كثيراً في الطب ، فالأزرق بخاصة يُمتص بشدة من قبل الهموغلوبين و هذا ما يعطي ليزر الأرغون خواص التخثير المهمة .

يستخدم ليزر الأرغون في العينية في إيقاف نمو الأوعية في قعر العين لدى المرضى السكريين ، و في كبح انفصالات الشبكية .

أما في معالجة الأورام الوعائية والنمش taches devin فيفضل نوع آخر من الليزرات و هو الليزر الصباغي ، بهذا الليزر الذي يكيف بحسب الرغبة وفق مجال عريض من الأطوال الموجية يسمح بتشعيع المناطق المصابة بالطول الموجي 580nm و هو الطول الموجي الموافق لنهاية امتصاص الهموغلوبين الأخيرة، والذي يمتاز بعدم التأثير في المناطق الأخرى المجاورة على عكس الضوء الأزرق .

المفعولات الفوتوكيميائية :

وهي المفعولات المرتبطة بالامتصاص الاصطفائي للضوء ، الذي تقوم به في معظم الأحيان إحدى الركائز المكونة للخلية، وتتجلى إما بإتلاف الخلايا الخبيثة مباشرة أو على مراحل متعددة و في هذه الحالة يطلق على هذا التأثير اسم التأثير الفوتودينميكي، وتعتمد على حقن متحسس ضوئي يمتاز بتفضيله التثبت على الورم: وجزيئاته قادرة على امتصاص ضوء الليزر بفعالية كبيرة، وهذا ما يحملها إلى حالات مثارة ، ثم تعود بسرعة كبيرة نحو حالات طاقاتها أخفض مع تشكيل نواتج سامة تقتل الخلايا الخبيثة وهنا تكمن الفائدة الرئيسة من العملية .

للمواد المتحسسة بالضوء تاريخ طويل في الطب، وقد اكتشف قدماء المصريين علاجاً يربط بين تناول النباتات التي تحوي الصدافولين psoriasis والتعرض لضوء الشمس في حالة البهق vitiligo ،وهو يستخدم حالياً في معالجة الصداف .

ويوجد العديد من المتحسسات الضوئية التي تتمركز في النسج المريضة : كالأكريدين والأيوزين و الفلوروسئين و التتراسكلين و الكبريتات و البربرين berberine و أهم هذه المواد البرفرينات التي تتمركز في النسج المريضة أكثر من النسج السليمة .ثمة مركب للبرفرين وهو مشتق الهماتوبرفرين (HPD) يمتاز بالتثبت على الورم و الكشف عن وجوده بالفلورة الحمراء و بتحريض التموت بعملية فوتودينميكية ، و يستخدم حالياً في معالجة مختلف الأورام الخبيثة (في الرئة أو المثانة أو المري) .

ولفهم آليات المعالجة الفوتودينميكية بالاعتماد على (HPD) في حالة السرطانات ، يجب فحص الخواص البارزة للجزيئات ، فهي قادرة على امتصاص الضوء في مجال واسع من الأطوال الموجية .

تقع أول نهاية عظمى للامتصاص عند 400 nm ، و لكن هذا الموقع يوافق نهاية امتصاص لهموغلوبين الدم و غير ملائمة جداً لمعالجة الأورام .

كما يوجد نهايات عظمى عديدة أخرى يقع آخرها عند 630 nm وهو طول موجي ينخفض عنده امتصاص الهموغلوبين بشدة ، و يختار ليزر عند هذا الطول الموجي لتشعيع الـ (HPD) المتمركز في الورم لأن هذا الطول الموجي هو الذي يضمن أكبر عمق للاختراق .

إن امتصاص جزيئات الـ (HPD) للفوتونات ينقلها إلى حالات مثارة ، حيث يمكنها أن تفقد طاقة الإثارة إما بإصدار إشعاعات فلورة مميزة حمراء تحوي خطين طيفيين ، و هذا الضوء دليل على الخلايا التي قامت بتثبيت جزيئات الـ (HPD) أي على الخلايا الورمية .

إذا كان هذا الشكل لزوال الإثارة يضمن تشخيصاً شديد التأثير بالأورام ، فإن الطريق الآخر الذي تسلكه كذلك من وقت إلى آخر لتسقط ثانية على الحالة الأساسية هو الذي يحرض التموت .

إن إتلاف الخلايا الخبيثة بالأكسجين الذري الناتج في داخل الورم نفسه هو أساس المعالجة الفوتودينميكية والتي تستخدم في مراكز عديدة في العالم لمعالجة سرطانات الجلد .

إن المعالجة الفوتودينميكية يمكن أن تكون مفيدة أيضاً في إكمال طرائق العلاج الأخرى بتطبيقها في تنظيف مكان الورم بعد العملية لإزالة آخر الخلايا الخبيثة .

الفلورة (الكشف عن الأورام عن طريق الفلورة المحرضة بالليزر) :

يجري التشعيع عملياً بليزرات يتكون وسطها الفعال من صباغ منحل في محل يمكن تكييف طوله الموجي مع القيمة المطلوبة، واستطاعتها تقدر بنحو 2 Watt .

يستمر التعرض لليزر بضع عشرات الدقائق ، و في العرف التجريبي تقارن المناطق المشععة بالليزر بمناطق أخرى غير مشععة مما يظهر فعالية العلاج .

إلى جانب النتائج الواعدة للمعالجة الفوتودينميكية التي تقوم بها المواد المتحسسة بالضوء كالهماتوبرفرين ، فإن هذه المواد تمتاز بإصدار إشعاع الفلورة الذي يمكنه إظهار وجود أورام صغرية في وقت مبكر جداً مقارنة بالطرائق التقليدية ، كما يمكن للفلورة داخلية المنشأ (الذاتية) المتحرضة بالليزر في مختلف الأصبغة الطبيعية للنسج أن تسهم في تعيين هوية هذه النسج ، وهي تمتد في مجال عريض من الأطوال الموجية، وتقع نهايتها العظمى عند الأزرق المخضر في الحالة التي يصدر فيها الليزر في المنطقة البنفسجية أو فوق البنفسجية .

إن الفلورة الذاتية في الخلايا الورمية أضعف منها بكثير في حالة الخلايا السليمة ، وهي تهبط إلى النصف في أورام القصبات، وأضعف بعشرين مرة أو أكثر في حالة أورام المثانة .

أما بوجود مستحضر للفوتونات فيمكن الاعتماد على زيادة الفلورة النوعية العائدة لهذا المتحسس بالنسبة إلى الفلورة الذاتية لتحسين التباين بين الخلايا الورمية والسوية .

ولهذا يكفي تقسيم شدة الخطوط العائدة للمتحسس وحده على شدة الفلورة الذاتية ونظراً لأن كلاً من شدتي الفلورة يتناسب طردياً مع الإضاءة الليزرية فإن هذه التقانة تمتاز بإعطاء إشارة مستقلة عن الشدة الضوئية وعن طريقة إضاءة الورم وعن حالته السطحية ... الخ ، و بذلك يصبح التشخيص مستقلاً عن العوامل التي يصعب التحكم فيها سريرياً .

القطع الضوئي (الليزري) photoablation :

وهو التأثير الفوتوكيميائي اللاحراري، وينتج بخاصة عند الليزرات فوق البنفسجية النبضية (الإكسايمر)، وتفيد هذه المعالجة بخاصة في حالة الشرايين التاجية نظراً لأن الليزرات التي تؤثر في المفعول الحراري تحرض توذماً شريانياً، لا يحصل في حالة القطع الليزري فوق البنفسجي، وقد جرت معالجة المئات من المرضى بهذه الطريقة من أمراض الشرايين التاجية.

المفعولات الكهربائية :

ثمة آلية أخرى لتفاعل ضوء الليزر مع المادة الحية تكمن في الحقل الكهربائي الذي يرافق حزمة الليزر. إن كل فوتون في هذه الحزمة يترافق في الواقع بموجة كهرطيسية جيبية مكونة من حقلين كهربائي وآخر مغنطيسي. ونظراً للترابط المكاني لكافة الفوتونات المكونة لحزمة الليزر ، فإن الحقل الكهربائي أو المغنطيسي في كل نقطة منها هو مجموع الحقول الكهربائية أو المغنطيسية لكافة الفوتونات، الأمر الذي ينجم عنه إمكانية بلوغ الحقل الكهربائي المرتبط بالحزمة قيماً كبيرة من مرتبة107 vm-1 إلى1012 vm-1.

و لما كانت الحقول الكهربائية التي تتحكم في الذرات و تربط بين الإلكترونات والنوى تقع بين 108 و 1012vm-1 ، فإننا ندرك سهولة أنه يمكن لنبضات الليزر أن تتلف التعضيات الجزيئية و تؤدي لتأيينها و تحطم روابطها و ظهور الجذور الحرة .يمكن أن نفهم من ذلك أيضاً أن النبضات الليزرية يمكن أن تؤثر على الثوابت الفيزيائية للأوساط التي تعبرها ، كناقلية النسج و ثوابت كهرنفوذيتها أو الاستقطاب الغشائي للخلايا مما يحدث اضطرابات في التبادلات الأيونية عبر الغشاء .

عند استخدام الليزرات النبضية (نانو أو بيكوثانية) فإن هذه الظواهر الكهربائية تكون شديدة جداً وتحرض في نقطة تأثيرها توليد كرة من الغاز المتأين أو البلازما ، تؤثر في الإشعاع الذي يولدها بقدر تأثيرها على الوسط البيولوجي الذي تتولد فيه .

المفعولات الميكانيكية :

إن المفعولات الميكانيكية في حالة الليزرات النبضية ، حيث تساق الطاقة إلى الهدف البيولوجي في مدد قصيرة جداً (تقع بين 100 ms و 10-12 s) تعود إلى تفاعل طاقة إشعاعية كبيرة جداً مع الوسط البيولوجي بشكل يكاد يكون لحظياً .

إن هذا التفاعل يضم :

توليد الأمواج الصوتية وأمواج الصدم نتيجة لتولد تدرج حراري موضعياً في النسيج يتطور بسرعة بدلالة الزمن .

المفعول الكهرتقلصي electrostrictif المرتبط بالحقل الكهربائي للموجة .

ضغط الإشعاع الذي يحدث عند مستوى السطح البيني لامتصاص الإشعاع .

إن الأمواج الميكانيكية المتولدة بهذه الطريقة تدفع الخلايا مشكلة في بعض الحالات فوهة حقيقية و يمكنها توجيه بعض الجزيئات في اتجاهات مفضلة .

إلى جانب ذلك يمكن لموجات الصدم هذه أن تولد ظواهر فوق صوتية عالية التواتر جداً تنتقل في الأوساط المحيطة و إن هذه الظواهر الميكانيكية عندما تطلق نبضة الليزر على حجرة صلبة شبه مغلقة كالحجاج (orbite) أو الحفرة السنية تكون ذات أهمية خاصة نظراً لأن جودة ناقليتها العظمية يمكن أن تحرض إصابات عن بعد .

الإشعاعات المؤينة – الأشعة السينية (X-ray) :

مبدأ عمل أنبوب توليد الأشعة السينية

(أنبوب كوليبج Coolidge):

يتكون المهبط من سلك تنغستين (F) كما في الشكل (7-12). تُسرّع الالكترونات الصادرة عن المهبط (C) نحو المصعد (T) المقابل للمهبط بواسطة كمون تسريع V يصل لعدة آلاف فولط مطبق بين المهبط والمصعد، وعندما يصطدم الإلكترون بالمصعد (الهدف) تكون طاقته الحركية: $K = eV$.

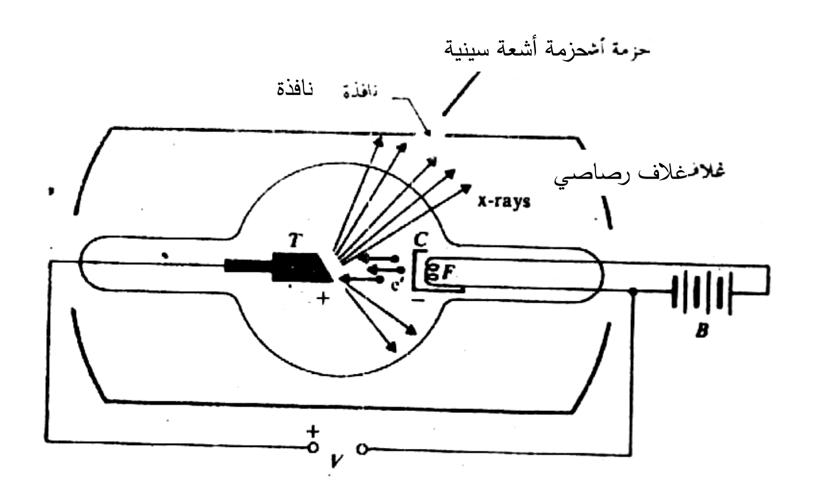
فالإلكترونات التي تصطدم بالهدف تفقد 98% من طاقتها الحركية على شكل حرارة، أما الجزء الباقي من الطاقة الحركية فإنه يولد الأشعة السينية في عملية إشعاع التباطؤ، وتكون الأشعة السينية الصادرة متناحية. وهذا ما يستدعي وجود نظام تبريد لتبريد الحرارة. فعندما يصطدم الإلكترون المسرع ذو الطاقة الحركية K بهدف معدني، تتولد قوة جذب بين هذا الإلكترون ذي الشحنة السالبة ونوى ذرات المعدن ذات الشحنة السالبة، مما يؤدي إلى تغير مسار الإلكترون،

وينتج عن ذلك تباطؤ الإلكترون يرافقه إصدار أشعة كهرطيسية طاقتها hv تساوي مقدار الطاقة الحركية للإلكترون (K1-K2)، ويدعى هذا الإشعاع بالأشعة السينية.

يكون المسريان (المصعد والمهبط) متوضعين في أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء تحت ضغط جوي منخفض.ويحقق التصفيح الخارجي للأنبوب الحماية والوقاية وتوجيه الحزمة المفيدة الأغراض عبر النافذة الموجودة في هذا التصفح الرصاصي.وتتراوح قيمة فرق الكمون الضروري لتوليد الأشعة السينية من 50-150 كيلو فولط في الاستخدامات الطبية.ويحدد فرق الكمون المستخدم إلى إمكانية اختراق الأشعة السينية للأجسام.ويكون الطول الموجي الوسطي الحاصل من مرتبة 10 بيكومتر ($0.1 A^{\circ}$). وتتعلق شدة الأشعة السينية التي تعبر النافذة، بعدد الإلكترونات الصادرة عن السلك خلال واحدة الزمن، و بدرجة حرارة السلك التي تحدد مقدار تدفق تيار الفوتونات الصادرة عن المصعد في واحدة الزمن.

ومن المفيد أن ننوه إلى أن إصدار X-ray، تتوقف فجأة فور إيقاف تغذية الأنبوب بالتوتر العالي.

يسبب تحسين مردود الأشعة السينية عن طريق زيادة التوتر العالي، انزياحاً في طيف الأشعة السينية نحو أمواج أشعة ذات أطوال موجية أقصر كما سنرى لاحقاً.

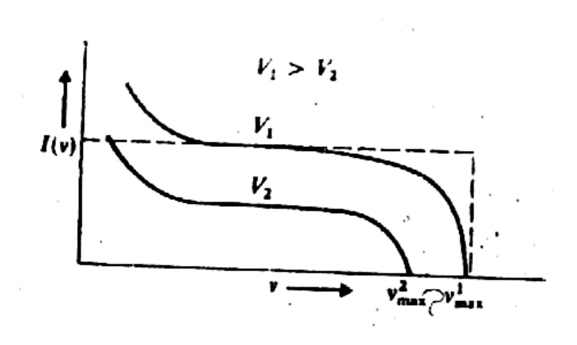


شكل (7-12) مخطط أنبوب الأشعة السينية لتوليد الأشعة السينية

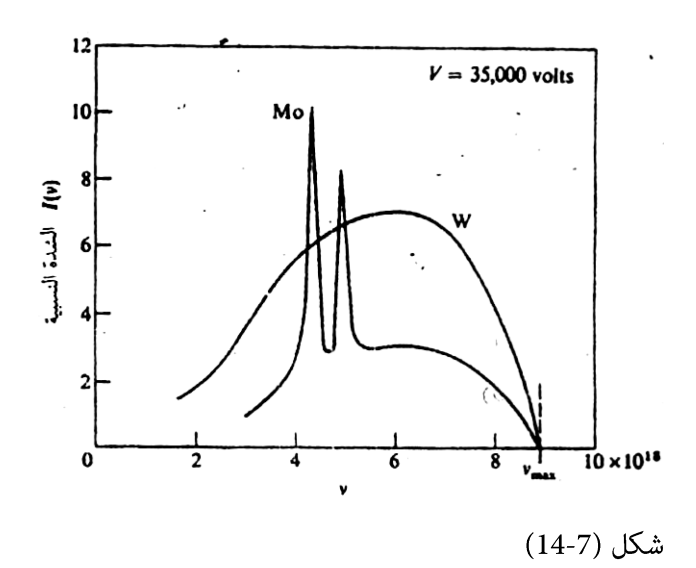
طيف الأشعة السينية:

يوضح الشكل (7-13) الطيف المستمر للأشعة السينية، وهو يبين تغيرات شدة الإشعاع(I(V بدلالة التواتر(V) من أجل جهدي تشغيلV1، V2.

أما الشكل (7-14) فيبين تغيرات (I(V بدلالة V من أجل معدنين مختلفين هما التنغستين w والموليبديوم Mo، وذلك من أجل نفس جهد التشغيل.



شكل (7-13)



شكل (7-14)

ومن أهم الخصائص المميزة لطيف الأشعة السينية:

1- يملك طيف الأشعة السينية توزعاً مستمراً للإشعاع على كافة الترددات حتى تردد أعظمي معين νmax، بحيث تكون قيمة νmax مستقلة عن مادة الهدف كما هو مبين في الشكل (7-14)، ولكنها تتعلق بجهد تسريع الأنبوب v كما هو مبين في الشكل (7-13) ويتناسب νmax طرداً مع كمون التشغيل V وفق العلاقة:

$$\frac{\nu_{\max}}{V} = const \qquad (7-38)$$

2- يبين الشكل (7-14)، وجود خطوط مميزة مركبة على طيف الأشعة السينية المستمر بالنسبة لهدف المولبيديوم، وإن موضع هذه الخطوط لا يتأثر بتغير جهد التسريع V، وبالمقابل فإن مواضع هذه الخطوط تظهر عند مواضع مختلفة بالنسبة لمواد مختلفة. هذه الخطوط هي خطوط الأشعة السينية المميزة التي تتعلق بطبيعة مادة الهدف.

لو عدنا إلى العلاقة (6-1) والتي تربط بين التردد الأعظمي νmax وعلاقته بكمون التسريع، فإنه لا يوجد تفسير في النظرية الكهرطيسية الكلاسيكية، ولكن نظرية الفوتون (كم الطاقة المتحرك بسرعة الضوء)، فإنها تقدم تفسيراً لعلاقة νmax بـ V بحيث: يمكن للإلكترون الوارد أن ينتج عدد من الفوتونات، ولكن إذا فقد الإلكترون كل طاقته دفعة واحدة فيعطي فوتوناً واحداً طاقته $h\nu max$ ويحقق العلاقة التالية:

$h\nu_{max} = eV$

ومنه يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$\frac{\nu_{max}}{V} = \frac{e}{h} const \qquad (7-39)$$

ولكن:

$$\lambda_{min} = \frac{c}{\nu_{max}}$$

ولذلك:

$$\frac{c}{\lambda_{min} V} = \frac{e}{h} \qquad (7-40)$$

ومنه نجد:

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \qquad (7-41)$$

ولو عوضنا قيمة كل من e ، h ، c فنحصل على العلاقة:

$$\lambda_{min} = \frac{1.24 \times 10^{-4}}{V} \quad (cm) \qquad (7-42)$$

حيث تقدر V بالفولت.

خواص الأشعة السينية:

نظراً للتطبيقات المتعددة للإشعاعات المؤينة، سواء في مجالي التشخيص أو المعالجة أو في مجالات البحث العلمي تدفعنا إلى تناول هذه الإشعاعات ودراستها بشيء من التفصيل.

اكتشف العالم رونتجن (Roentgen) الأشعة السينية في عام 1895 وذلك عندما كان يجري تجاربه على مصابيح الأشعة المهبطية وتعليله لهذه الظاهرة وقد منح جائزة نوبل الأولى للفيزياء تقديراً لاكتشافه وتفسيره.

للأشعة السينية طبيعة الضوء المرئي نفسها، فهي أشعة كهرومغناطيسية. وتحتل الأشعة السينية موقعاً متوسطاً بين الأشعة غاما والأشعة فوق البنفسجية.

وتتلخص خصائص الأشعة السينية بما يلي:

لا تنحرف حزمة الأشعة السينية بتأثير الحقول الكهربائية والمغنطيسية، ممّا يؤكد أن فوتونات الأشعة السينية لا تحمل أية شحنة كهربائية.

تنتشر الأشعة السينية عبر المادة في كل اتجاهات الفراغ، ويترافق ذلك بتغيرات متفاوتة في أطوال موجتها.

تمتص المواد الأشعة السينية بمقادير أدنى بالمقارنة مع الضوء المرئي، وتتفاوت قيم الامتصاص تبعاً لطبيعة المادة المُخترقة وثخانتها، وتُعد هذه الخاصية بالتحديد أساساً لتصوير الشعاعي التشخيصي الطبي والسني باستخدام الأشعة السينية.

تُحدث الأشعة السينية تفاعلات كيميائية وحيوية في الأنسجة الحية، إذ يؤدي هذا الفعل الكهرضوئي إلى التأين ويأخذ الاستقلاب الخلوي مسارات غير طبيعية، وقد ينتهي ذلك أحياناً بموت الخلايا. وتؤثر الأشعة السينية في مستحلبات التصوير الشعاعي فنحصل بذلك على الصور المستقرة.

تحرض الأشعة السينية عدداً من المواد على التألق، إذ تبث بلورات كبريتات التوتياء مثلاً ضوءاً أخضر مرئياً إذا أثيرت ذراتها بالأشعة السينية، وينجم ذلك عن تحول فوري لأطوال أمواج الأشعة السينية القصيرة إلى أمواج ضوئية مرئية أطول. ويعدُّ التنظير الشعاعي Radioscopie تطبيقاً عملياً لهذه الخاصية، وكذلك التصوير الشعاعي الذي يتم باستخدام كاسيتات مع شاشات إضافية.

تمتلك الأشعة السينية القدرة على تأيين الغازات التي تخترقها. وتؤين كذلك الهواء الجوي، ويزول هذا التأين فور توقف تدفق الأشعة لأن الشوارد لا تلبث أن تتحد ثانية فيما بينها.

تنتشر الأشعة السينية بخط مستقيم في الفراغ – كما في الأشعة الضوئية – وفي المسافات الأولى من الهواء القريبة من منبعها وينجم عن ذلك ما يلي:

يكون عدد الفوتونات ثابتاً ضمن زاوية مجسمة صلبة محددة، يمثل منبع الأشعة السينية قمة لها.

يقل عدد الفوتونات الواصلة إلى واحدة السطح كلما ابتعدنا عن قمة الزاوية المشار إليها سابقاً بحيث يتناسب ذلك عكساً مع مربع بعد السطح عن القمة الزاويّة.

تغير الأشعة السينية اتجاهها داخل البلورات ضمن بعض الشروط أي أن هذه الأشعة تعاني كذلك ظاهرة الانكسار المعروفة.

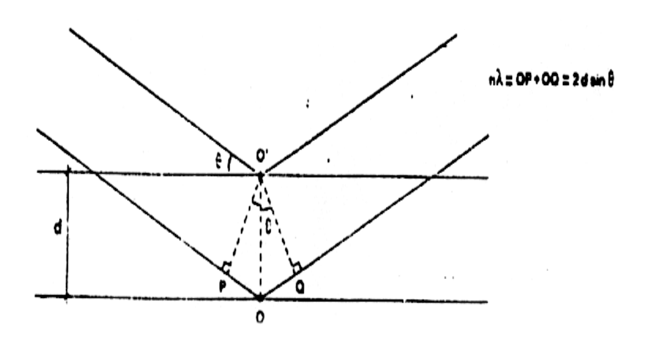
يمكن للأشعة السينية أن تولد ظواهر التداخل الموجية المعروفة أيضاً في الأشعة الضوئية.

الأشعة السينية نفوذة عبر البلورات: فعندما نسقط حزمة عمودية وموجهة من الأشعة السينية على سطح بلورة ما، فنلاحظ ارتسام صورة لانعراج الأشعة المارّة على مستوٍ عمودي تصطدم به الأشعة خلف البلورة. وتتكون هذه الصورة بفعل ذرات مختلف السطوح الشبكية للبلورة التي تنشر الأشعة في كل اتجاهات الفراغ.

أما انعكاس الأشعة السينية على سطوح فرمي في البلورات فتحصل وفقاً للآلية التالية: تنعكس الأشعة السينية الواردة نحو سطح البلورة باتجاه غير ناظمي على سطوح التراص المختلفة (فرمي). فقسم من هذا الانعكاس يحصل على السطح بينما يحصل بعضه الآخر في العمق داخل البلورة. لهذا فإن جزء الحزمة المنعكس على السطح الداخلي (الذي يبعد عن السطح الخارجي بمسافة d) يسير مسافة أطول ومقدارها $2d \sin \theta$ حيث θ هي الزاوية المحصورة بين الشعاع والسطح، الشكل (7-15)، ويتطلب المحافظة على التوافق في الطور الأساسي المحافظة على علاقة براغ (Bragg).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad \ldots \quad (7\text{-}43)$$

(حيث n عدد صحيح)

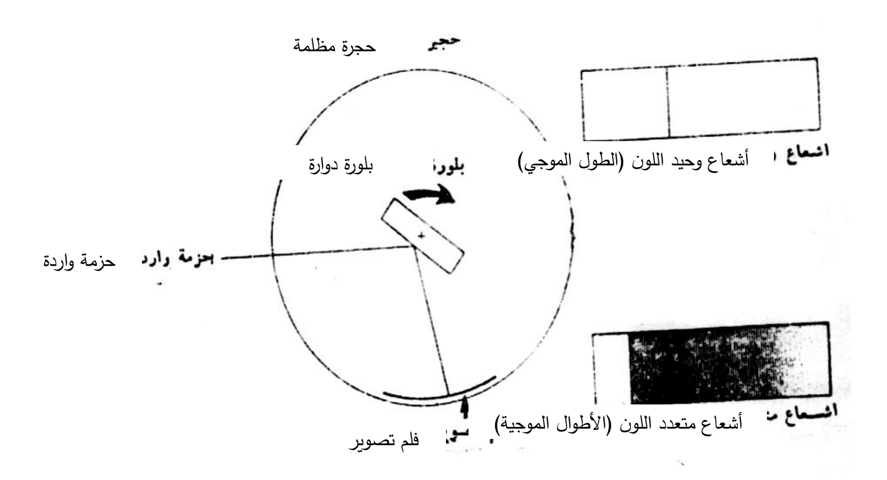


شكل (7-15) انعكاس براغ

وهذا يسمح لنا بحساب البعد الشبكي (d) من حساب طول موجة الشعاع المستخدم. وهذا هو أساس إحدى طرائق التصوير الطيفي الهامة باستخدام الأشعة السينية.

أما عن التصوير الطيفي بطريقة البلورة الدوّارة، فتقوم هذه الطريقة على وضع البلورة المشار إليها في الشكل السابق (7-15) على محور دوران في غرفة مظلمة بشكل يسمح بانعكاس الأشعة السينية على لوحة تصوير حساسة. فنحصل بنتيجة ذلك على مخططات طيف ذات خطوط سوداء تدل على الأوضاع التي يتحقق فيها توافق الطور. ففي حالة شعاع مكوّن من طول موجي واحد نحصل على خط أسود واحد، أما في حالة شعاع متعدد الأطوال الموجية المتتالية نحصل على خطوط متعددة على الفم،

وكل وضع جديد للبلورة يحدد زاوية جديدة θ ويختار طولاً موجياً يسمح بتوافق الطور، الشكل (7-16).



شكل (7-16) الصورة الطيفية للأشعة السينية بطريقة البلورة الدوّارة

أما تطبيقات الأشعة السينية فتتلخص بما يلي:

إنها وسيلة مراقبة في الصناعة للتحقق من بعض البنى في الصناعات الثقيلة (كبنية أجنحة الطائرات، و .. الخ)، وهذا ما يدعى بالتصوير الشعاعي المعدني.

إن دراسة انحراف الأشعة السينية في الأجسام البلورية والحيوية يعطي صورة مميزة لهذه البلورات والأجسام الأمر الذي يساعد كثيراً على فهم تركيبها الداخلي المعقد، واعتماداً على صور الانحراف هذه تمكن العلماء من إعادة بناء هياكل جزيئية معقدة مثل تركيب الدنا (DNA) وتركيب العظام وغيرها.

تستخدم الأشعة السينية بشدة في المجالات الطبية المختلفة من أجل إجراء التنظير الشعاعي، أو التصوير الشعاعي، وفي المعالجة الشعاعية، إضافة لاستخداماتها الطبية السنية في تصوير الأسنان.

وحدات الإشعاع:

التعرّض – الرونتجن:

يعبّر التعرّض عن مقدار كمية التأين الذي تحدثه الأشعة السينية xأو الأشعة الغاماوية γ في الهواء ويقدر بالرونتجن (ورمزه R)، الذي يقابل إحداث 1015 × 1.61 زوجاً من الأيونات في كل كيلو غرام من الهواء الجاف في الشرطين النظاميين التي تحمل شحنة كهربائية قدرها 4-10 × 2.58 كولوناً. أي إن الرونتجن يسبب تأين % 9-10 × 4 فقط من ذرات الهواء.

إن الطاقة الوسطية اللازمة لإحداث زوج إيوني في الهواء هي: 18-10× 5.4 جولاً، ولهذا فإن امتصاص الطاقة في الهواء المقابل لتعرض قدره (1 R) هو: $5.4 \times 1015 \times 1.61 \times 10\text{-}18 = 8.68 \times 10\text{-}3$ J/kg

لا يجوز استخدام الرونتجن إلا علىالأشعة السينية والغاماوية وآثارها في الهواء.والنسج البشرية هي الوسط الهام عادة، وتوضّع الطاقة فيها أعلى غالباً منها في الهواء. ففي حالة أشعة غاما ذات الطاقات التي تصادف عادة (0.1 - 2 MeV) يساوي توضع الطاقة في النسيج المرافق لتعرض قدره (1 R)9.6 × 10-3 جول في كل كيلو غرام. ولقد أدخل مفهوم الجرعة الممتصة من الإشعاع للتغلب على هذه الصعوبات.

جرعة الإشعاع الممتصة – الغري والراد:

الجرعة الممتصة Absorbed Dose هي مقياس لتوضع الطاقة في أي وسط. وكان يعبر عن الجرعة الممتصة بالراد Radiation Absorbed Dose ويعرّف بأنه توضع الطاقة بمعدل 0.01 J/kg ولكن منذ عام 1975 أدخلت وحدة جديدة للجرعة الممتصة وهي الغري Gray (GY) لتكون من واحدات الجملة الدولية للوحدات وتعريفها:

1 Gy = 1 J/kg = 100 rad

نستنتج مما سبق أن (1 R) يعطي جرعة ممتصة مقدارها في الهواء:

8.69 × 10-3 / 0.01 = 0.869 rad

ومقدارها في النسج البشرية: 9.6 × 10-3/0.01 = 0.96 rad

ولهذا يكون للتعرض، مقدّراً بـ R، والجرعة الممتصة، مقدرة بالراد في كثير من الحالات القيمة نفسها تقريباً، ولنلاحظ أنه ينبغي دائماً ذكر الوسط الماص.

ومن الواضح أن تعرضاً قدره (1 R) يكافئ جرعة ممتصة في الهواء قدرها 8.69 m Gy (ميلي غري).

أما المعدل الزمني للجرعة (أو معدل الجرعة اختصاراً) فيساوي خارج قسمة الجرعة الممتصة على زمن امتصاصها. ويقدر هذا المعدلبـ غري/سنة ميلي غري /أسبوع، راد /ساعة ، راد/سنة.

الجرعة المكافئة – السيفرت والريم:

على الرغم من أن الغري (أو الراد) وحدة فيزيائية كبيرة الفائدة، فقد تبين أن جرعة ممتصة معينة من أنواع الإشعاع المختلفة لا تحدث بالضرورة الدرجة نفسها من الضرر في الجمل البيولوجية. فقد وجد مثلاً أن راد واحد من إشعاع ألفا يمكن أن يحدث الضرر البيولوجي الذي يحدثه 20 راداً من إشعاع غاما. فهذا الفرق في الفعالية البيولوجية الإشعاعية مختلفة للحصول على الجرعة الفعالة البيولوجية الكلية.

ويكفي لهذا أن نضرب الجرعة الممتصة، من كل نوع من الإشعاع، بعامل النوعية Q الذي يعكس قدرة نوع معين من الإشعاع على إحداث الضرر والأذى. ويسمى الجداء المذكور الجرعة المكافئة وكان يعبر عنها بالريم Rad Equivalent for Man (Rem) حيث:

الجرعة المكافئة (ريم) = الجرعة الممتصة (الراد) × عامل النوعية (Q)

وقد أدخلت وحدة جديدة للجرعة المكافئة وهي Sievert (Sv) عام 1979، لتكون من وحدات الجملة الدولية (SI) وتعريفها:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times Q = 100 \text{ rad} \times Q = 100 \text{ rem}$$

وقد تبين أن قيمة عامل النوعية تتوقف على كثافة التأيين الذي يسببه الإشعاع، فمثلاً يولّد جسيم ألفا نحو عشرة ملايين زوج من الأيونات في كل سنتمتر من الأنسجة، بينما يولّد جسيم بيتا نحو خمسئة آلاف زوج في السنتمتر. ويسبب إشعاع غاماً تأييناً كثافته مماثلة لتلك الناجمة عن إشعاع بيتا. ولأن أنواع الإشعاع الأخرى كافة تقارن بأشعة غامة، فقد اتخذ عامل النوعية Q لإشعاع غاما مساوياً الواحد ومثل ذلك لأشعة بيتا. وعلى هذا يكون عامل النوعية لأشعة ألفا مساوياً 20. أما Q للنترونات فيتوقف على طاقتها وتؤخذ عادة القيمة 2.3 في حالة النترونات

فيتوقف على طاقتها وتؤخذ عادة القيمة 2.3 في حالة النترونات الحرارية (أي التي تقع طاقتها في المجال $0 \leq En \leq 0.4$ MeV). وتؤخذ القيمة 10 للنترونات السريعة ($En \approx 1$ MeV).

الأخطار البيولوجية للإشعاع:

تخرب الطاقة الممتصة من الإشعاع المؤين، لدى مروره عبر المادة، الوسط بإحداث تغيرات جزيئية أو تغيير في البنية البلورية. ويتعلق مقدار التخريب الناتج بطبيعة المادة الماصة وطاقة الجسيم وشدة الإشعاع. وتكون الآثار عظيمة في الجزيئات العضوية المعقدة. ويتوقف مقدار التخريب الحادث فيها على الجرعة ومعدل الجرعة. ويجب عند النظر في أخطار الإشعاع على العضوية الحية التمييز بين نوعين من الأضرار:

الأضرار المرضية: وهي تؤدي إلى الموت إذا كانت شدتها كافية.

الأضرار الوراثية: فالضرر الذي يصيب الأعضاء التناسلية قد لا يؤثر في الجسم نفسه، لكنه يضر الأجيال القادمة. فالتشعيع المتواصل لسائر السكان، ولو كان ضعيفاً، يمكن أن يؤدي إلى انقراضهم في المستقبل ويمكن لجرعة قدرها 1 Sv = 100 rem أن تحدث آثاراً مميتة فيما بعد، إذا شملت الجسم كله وذلك عن طريق إحداث فقر الدم والسرطان.

هذا وإن آثار الإشعاع في الأعضاء التناسلية أخطر بكثير لأن هذه الآثار تجميعية، بمعنى أن جرعة معينة تحدث الضرر نفسه سواء أخذت دفعة واحدة أو موزعة على عدة سنين. عندما يمر الإشعاع عبر الخلايا الجنسية فإن يؤثر في صبغيات (كروموزومات) نواة الخلية محدثاً تغيرات يمكن أن تتجلى على شكل طفرات (تغيرات فجائية) في النسل. وتكاد تكون هذه الطفرات كلها مؤذية.

إننا جميعاً نتعرض في الأحوال العادية إلى طفرات طبيعية تعود إلى حد كبير إلى الحركة الاهتزازية لجزيئات أجسامنا وإلى النشاط الإشعاعي وإلى الأشعة الكونية. وتعدّ الجرعة الإجمالية من الإشعاع التي يتلقاها الإنسان منذ ولادته حتى سن الأربعين مساوية 4.4 rem =44 m Sv .ويتضاعف هذا الرقم تقريباً إذا أضيفت إليه الجرعات الإضافية التي يتلقاها المرء عند طبيب الأسنان أو طبيب الأشعة. فالصورة الشعاعية تعادل جرعة موضعية تساوي 0.5 – 2 m Sv (0.05 - 0.2 rem) والصورة الشعاعية السنية 40 – 50 m Sv (4 – 5 rem).

ومع ذلك يسمح في حالات الطوارئ بأخذ جرعة لا تتجاوز 100 m Sv = 10 rem لإنقاذ تجهيزات ثمينة، وجرعات لا تتجاوز 1 m Sv = 10 rem لإنقاذ حياة إنسان. ويقصد بهذين الرقمين تشعيع الجسم بكامله. أما إذا كانت الجرعة موضعية جداً لتخريب الورم الخبيث فتقع قيمتها في المجال 100 Sv – 5.

لنذكر بهذه المناسبة أن الميناء المشع لساعة اليد يعطي وحده 380 ميلي شيفرت/سنة (38 ريم/سنة) ولكن هذه الجرعة موضعية جداً.

ولنذكر أن دفاع الجسم البشري ضد إشعاع المواد النشيطة إشعاعياً أضعف من دفاعه ضد الإشعاعات الأخرى . فمثلاً 600 ميكرو سيفت/أسبوعياً (60 ميلي ريم/أسبوعياً) من الأشعة السينية تحدث ضرراً للجسم الذي يتعرض لها برغم أنها تكافئ استطاعة قدرها (8-10) واطاً، بينما يستطيع الإنسان أن يتلقى دون خطر، بكامل جسم وطول حياته، واطاً كاملاً من الإشعاع الشمسي.

ويبين الجدول الآتي مدى الإشعاعات النووية في الهواء والأنسجة الحية:

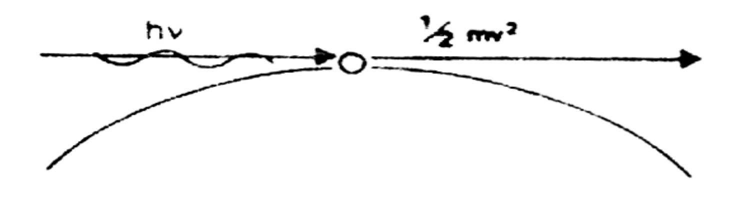
الإشعاع	المدى في الهواء	المدة في الأنسجة
ألفا	3 cm	0.04 mm
بيتا	300 cm	5 mm
السينية وغاما	كبير جداً	تعبر الجسم
نترونات بطيئة	كبير جداً	15 cm
نترونات سريعة	كبير جداً	تعبر الجسم

يتبين من هذا الجدول أن أشعة ألفا تمتص بسهولة كبيرة. ويكفي عادة لإيقافها قطعة رقيقة من الورق، ولهذا فإن الوقاية من أشعة ألفا ليست مشكلة. أما أشعة بيتا فهي أشد نفوذاً من ألفا وتتطلب الوقاية منها (فيما يخص الطاقات 10 MeV – 1) استخدام صفائح من اللدائن تصل ثخانتها إلى (1cm) كي تمتصها امتصاصاً تاماً. إن سهولة الوقاية من أشعة بيتا تعطي انطباعاً بأنها ليست خطرة خطورة أشعة غاما أو النترونات، ولهذا كثيراً ما تحمل منابع بيتا، الكبيرة والمكشوفة، باليد مباشرة، وهذا عمل خطر جداً: فمعدل الجرعة الممتصة على مسافة 3 mm من منبع بيتا نموذجي شدته 37 ميغا بكرل (البكرل Becquerel هي واحدة التفكك الإشعاعي وتعبر عن تفكك واحدة/ثانية) = ا ميلي كوري (1m Ci = 37 MBq)هو تقريباً 30 غري/ساعة (300 راد/ساعة).

أما الأشعة السينية وغاما فالوقاية التامة منها غير ممكنة عملياً، ومع ذلك يمكن تخفيض الجرعات الناجمة عنها باستعمال صفائح رصاصية ثخينة، فالكوبالت – 30 المشع يصدر أشعة طاقتهاMeV 1.17 وكذلك 1.33 MeV وتهبط شدة هذه الأشعة إلى النصف بعد اختراقها صفيحة من الرصاص ثخنها 1.25 سنتمتراً.

امتصاص الأشعة السينية وتخامدها:

يحدث الامتصاص Absorption عند التحول الكامل للطاقة الإشعاعية (hV) إلى طاقة حركية (1/2 mV2) ويمكن أن تكون نتائجه تأيين الجزيئات التي وقع عليها التأثير الكهرضوئي، الشكل (7-17).



شكل (7-17)

بغضّ النظر عما يجري من نقصان متناسب مع مربع لمساحة، فإن فرق الشدة (عدد الفوتونات العابرة في واحدة السطح خلال ثانية واحدة) بين حزمة الأشعة السينية الواردة والقسم النافذ نحو المستقبل (الصورة)، لا يعود لامتصاص الأشعة عبر الجسم المتعرض فحسب بل يتعداه إلى خسارة قسم آخر لا يَعبر العينة ولا يُمتص وإنما ينتشر بسببه وهذا ما يدعى بتخميد Attenuation (أو تخفيف) حزمة الأشعة بالانتشار. وبناءَ على ذلك يمكننا القول:

الامتصاص = الامتصاص الحقيقي (فعل كهرضوئي) + التخميد بالانتشار (التخفيف)

حالة إشعاع أحادي اللون (أحادي الطول الموجي):

بغض النظر عن تناقص شدة الإشعاع مع المسافة، فإننا نلاحظ تجريبياً أن شدة حزمة الأشعة السينية التي تجتاز مرشحات متماثلة تنقص، وبالنسبة نفسها بعد مرورها عبر كل مرشح.

ويعطى التناقص الأسي على النحو التالي:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad (7-44)$$

حيث:

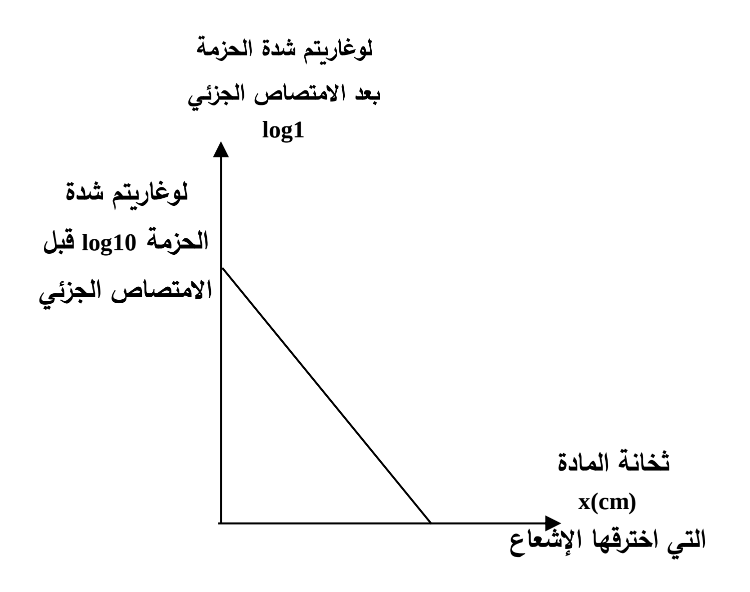
I– شدة الحزمة وقد قيست بعد امتصاص جزئي.

I0– شدة الحزمة قبل الامتصاص.

x– ثخن المادة التي اجتازها الإشعاع (مقدراً بالسنتمتر).

μ - عامل الامتصاص الخطي الكلي من أجل المادة المُعطاة.

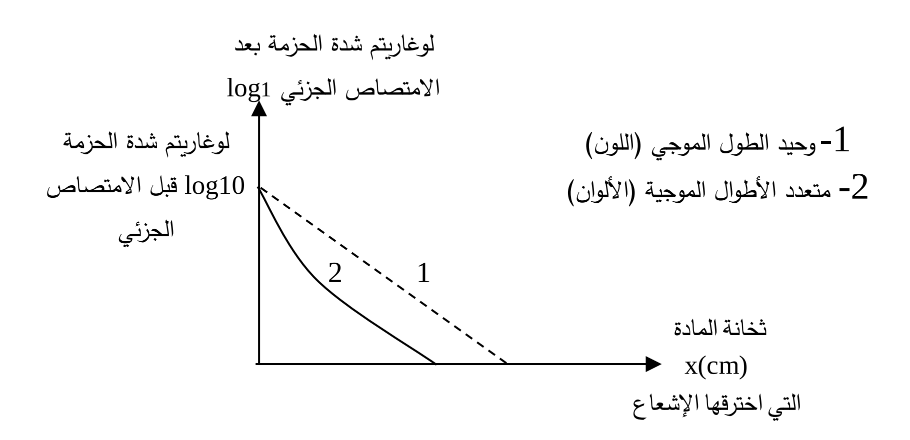
ويحدد العاملات μ ، x درجة الامتصاص. ويظهر الشكل (7-18) تغيّر الامتصاص بدلالة ثخن المادة التي اجتازها الإشعاع.



الشكل (7-18)

حالة إشعاع متعدد اللون (متعدد الطول الموجي):

يتغير المنحني في حالة الإشعاع متعدد اللون، الشكل (7-19). ويزداد هذا التغير كلما زادت المسافة المخترقة، إذ تتوافق الأمواج الأكثر طولاً والأضعف طاقة الأمر الذي يؤدي إلى اختفاء هذه الأمواج أولاً وبذلك تتبدل مواصفات الطيف.



الشكل (7-19)

ثخانة امتصاص نصف الإشعاع:

وهي عبارة عن ثخانة المادة التي تُنقص شدة الإشعاع الوارد عليها إلى النصف(أو بمعنى آخر ثخن المادة التي يمتص نصف الإشعاع الوارد عليه).

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

ويكون هذا الثخن مميزاً للشعاع المحلل.

معادل الامتصاص الخطي الكلي، (μ):

من العلاقة: $I = I_0 e^{\mu x}$

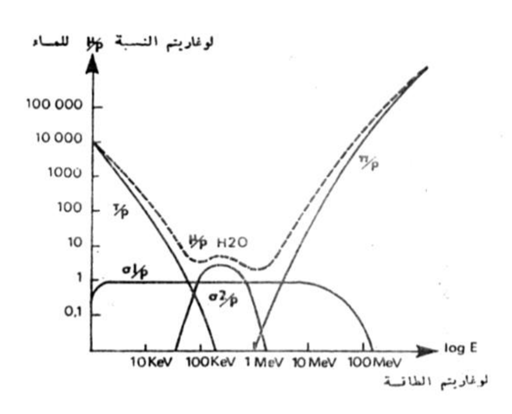
نجد:

$$\mu(cm^{-1}) = \frac{Log\, I_0 - Log\, I}{x\,(cm)} \qquad (7-45)$$

وهذا المعامل الخطي الكلي للامتصاص يبدي سيئات تعود إلى ارتباطه بشكل خاص بالشروط الفيزيائية السائدة من حرارة وضغط.

تبدل معامل الامتصاص الكتلي الكلي بدلالة طاقة الإشعاع:

لتوضيح ذلك نأخذ معامل الامتصاص الكتلي الكلي $(\frac{\mu}{\rho})$ للماء، وذلك لأن الماء يؤلف قرابة 70% من مكونات الأنسجة الحيّة، و الامتصاص عبر هذه الأنسجة مشابهاً للامتصاص من خلال الماء، الشكل (7-20).



الشكل (7-20) تغير معامل الامتصاص الكتلي بدلالة طاقة الإشعاع الوارد.

يكون التخامد بفعل تومسون $(\frac{\sigma_1}{\rho})$ مستمراً بمعدل ضعيف في كل مجالات الطيف ويختفي في الطاقات الأعلى من 100 ميغا الكترون فولط.

لا يلاحظ التخامد بفعل كومبتون $(\frac{\sigma_2}{\rho})$ إلا في مجالات الطاقة المحصورة ما بين 100 كيلو الكترون فولت و 1 ميغا الكتروناً فولتاً.

ويكون الامتصاص بالفلورة $(\frac{\tau}{\rho})$ أكبر ما يمكن في الطاقات الدنيا، لكنه يتناقص بسرعة حتى يختفي تماماً عند القيمة 100 كيلو المترون فولط.

أما بالنسبة إلى الامتصاص بالتحول المادي $(\frac{\pi}{\rho})$ فإنه يظهر ابتداء من 1.02 ميغا الكتروناً فولطاً ليصبح مسطيراً عند الطاقات المتزايدة.

هذا وتظهر دراسة المنحني السابق أنه في مجال الطاقة المستعملة في التشخيص الشعاعي

(1-100 كيلو الكترون فولط) يعزى الامتصاص بقسمه الأعظمي إلى التأثير الضوكهربي $(\frac{\tau}{\rho})$ وبنسب أقل إلى تأثيرات $(\frac{\sigma_1}{\rho})$ تومسونو $(\frac{\sigma_2}{\rho})$ كومبتون.

النـظـائـر الـمـشعـة :

مقدمة :

لقد ساهم استخدام النظائر المشعة مساهمة فعالة جداً في تقدم العلوم التجريبية ويعود الفضل للباحث C . de hevesy الذي استعمل لاول مرة النظير المشع الطبيعي 212pb لاثبات دخول الرصاص الى العضوية النباتية، ولقد توالت بعد هذه التجربة تطبيقات لا يمكن حصرها لهذه النظائر طبيعية كانت ام اصطناعية في مخابر البحث الحيوي والطبي الدوائي .

أ ن الجزيئات الحاوية عنصراً مشعاً تصدر اشعاعات يمكن بملاحقتها وكشفها تتبع حركة هذه الجزئيات ومسيرها داخل البدن الحي ومعرفة كل ما يطرأ عليها من تحولات ، بالاضافة الى معرفة ألية امتصاصها وإطراحها . ومن ذلك كله يفهم كيف أن استعمال العناصر المشعة يشكل طريقة مثلى لدراسة استقلاب لمواد الغذائية والدوائية ومعرفة الية الظواهر الحيوية المعقدة . كما تستخدم بعض هذه العناصر عناصر تشخيصية لبعض الامراض أو عوامل دوائية تعالج بعضها الاخر .

أما الطرق التحليلية فلقد استفادت هي الأخرى فائدة كبيرة من النظائر باستخدامها في مراقبة الطرق التحليلية القديمة وبادخالها طرق تحليلية جديدة تمتاز بدقتها الكبيرة وحساسيتها الخارقة ، ومن هذه الطرق نذكر طريقة التمديد النظائري وطريقة التنشيط.

نشير الى أن العمل بهذه العناصر يستلزم اتباع قوانين خاصة وأصول معينة تحقق أخذ كل الاحتياطات الضرورية لحماية العاملين بها وعدم تعرضهم لضرر الاشعاعات .

تتألف العناصر والذرات من نواة مشحونة بشحنة إيجابية وتتمركز فيها تقريباً كتلة العناصر ، وهذه النواة محاطة بغيمة إلكترونية تعادل بشحنتها الكهربائية (حالة الذرات المعتدلة) شحنة النواة .

إن خصائص الذرة الكيميائية تتعلق بالألكترونات المحيطية في حين أن تفاعلاتها وخصائصها النووية تعود أن النواة المركزية .

تتألف النواة من نوعين من الدقائق هي البروتونات والنترونات تقرب كتلة كل منها من الأخرى . تحمل البروتونات شحنة كهربائية موجبة بينما لا تحمل النترونات اية شحنة كهربائية .

يتميز كل عنصر بثلاثة أعداد هي :

العدد الذري ويرمز له بـ Z وهو يمثل عدد البروتونات أو شحنة النواة وهو مميز لكل عنصر .

العدد الكتلي ويرمز له بـ A ويمثل عدد الدقائق الكلي للنواة وهو يوافق تقريباً الوزن الذري للعنصر .

عدد النترونات ويرمز له بـ Hélium كما يلي : 42H

يدعيان العنصرين الحاملين العدد الذري نفسه (أي الخصائص الكيماوية نفسها) , وعدد كتلي مختلف بالنظائر فمثلاً يوجد للكلور نظيران هما(17 بروتوناً + 20 نتروناً 3717CI) و (17 بروتوناً + 18 نتروناً) 3517 CI .

ترتبط النترونات والبروتونات داخل النواة بقوى ارتباط نووية توازي قوى التدافع الكهربي ما بين البروتونات (قوى كولون) فاذا لم تكن هذه الرابطة متوازنة تحاول النواة تغيير وضعها بشكل تصل فيه الى الثبات وذلك باصدارها اشعاعات مختلفة

(الفا ∝ ، وبيتا ß ، وغاما γ) وتدعى هذه الحادثة بالنشاط الاشعاعي Radioactivité ، ويترافق هذا التحول بتولد قدرة وبتشكل ذرة جديدة ذات كتلة أصغر من الاولى وصفات فيزيائية وكيميائية مختلفة ، كما يمكن لهذه الذرات المتولدة الجديدة ان تتفكك مجدداً حتى يتم الحصول على مركبأو عنصر ثابت غير مشع .

أن كل العناصر الطبيعية ذوات العدد الذري الاكبر من 83 والكتلة الذرية الأكبر من 209 هي عناصر غير ثابتة ومشعة وتصنف جميعها بثلاث فصائل او عائلات :

عائلة اليورانيوم (238) ، عائلة اليورانيوم (235) ,(الاكتينيوم Actinium) ، عائلة التوريوم (232) Thorium وجميعها تعطي في ختام تفكيكها نظائر ثابة للرصاص هي 206 ، 207 ، 208 .

من الممكن الحصول على نظائر مشعة اصطناعية وذلك بحقنأو إدخال بروتون أو نترون واحد او اكثر داخل النواة الثابة لاحد العناصر فيتكون بذلك عنصر غير ثابت له العدد الذري Z نفسه للعنصر الاصلي ولكنه يختلف عنه بكتلته ويبدأ هو االآخر بإصدار كمية من الإشعاعات حتى يعود إلى تركيبه الثابت الاول .

ولا بد من الاشارة الى ان العناصر المشعة اهم ما يميزها هو قدرة اشعاعها وسرعة تفككها .

قوانين التفكك الاشعاعي ووحداته

إن التفكك الاشعاعي ظاهرة مرتبطة بالاحصاء حيث تعطي لكل نواة مشعة احتمالية تفككات معينة بوحدة الزمن وتميز العنصر المشع المرينط بها، إن هذه الاحتمالية او بالاحرى سرعة تفكك العنصر المشع مستقلة تماماً عن العوامل الخارجية كالحرارة والضغط وغير ذلك .... إن عدد النرات او النوى المتفككة بوحدة الزمن يتناسب مع عدد النوى أو الذرات N الموجود باللحظة t .

وتكون سرعة التفكك : $\frac{dn}{dt} = - \lambda N$ (46-7)

حيث λ هي ثابة التفكك الاشعاعي, وهي مميزة لكل عنصر . ومن العلاقة السابقة

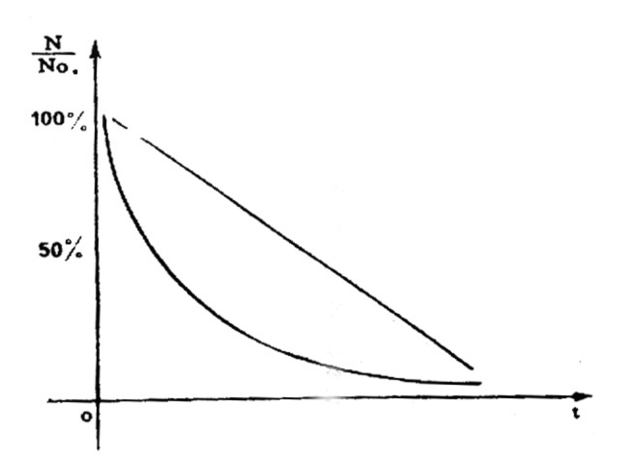
نتوصل إلى : $\frac{dN}{N} = - \lambda dt$

وتكامل هذه القيمة يقودنا إلى : $\frac{N}{N_0} = e$ $t - \lambda$

أو: (47-7) N= N0e- λt

حيث N0 هو عدد النوى أو الذرات باللحظة N,t=0عددها باللحظة t

إذا رسمنا الخط البياني الممثل لتحولات النشاط الاشعاعي (عدد التفككات في الدقيقة) بالنسبة ‘لى الزمن حصلنا على منحني في حين أننا عندما رسمنا هذا الخط بأخذنا على محور العينات لوغاريتم النشاط الاشعاعي وعلى محور السينات الزمن حصلنا على خط مستقيم انظر الشكل (7-21) .



الشكل (7-21)

يستعمل تعبير زمن نصف العمر أو الدور وهو الزمن اللازم لكي تنقص عدد الذرات الموجودة في الاصل الى النصف . وإن هذا الزمناو الدور يتراوح ما بين أجزاء الثانية ومليارات السنين وهو مميز للعنصر المشع . ولحساب هذه القيمة نبدل في المعادلة

السابقة $\frac{N}{N_O}$ بـ $\frac{1}{2}$ وذلك في اللحظة t =T فنجد :

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

$$\log 2 = \lambda T$$

ومنه: $0,693 = \lambda T$

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

وتكون ثابة التفكك في هذه الحالة معادلة لـ :

$$\lambda = \frac{0,693}{T}$$

وبإبدال قيمتها في المعادلة الأصلية نصل الى الدستور العام لتناقص الاشعاع :

$$N = NO . e^{\frac{0,693}{T}} \quad (48\text{-}7)t$$

أما العمر المتوسط للعنصر المشع او يرمز له بـ Tm فهو بالتعريف :

$$Tm = \frac{I}{\lambda}$$

ولأن : $\lambda = \frac{0,693}{T}$

إن وحدة النشاط الاشعاعي او الفعالة النووية هي الكوري Curie ويرمز له بـ c .ولقد كان تعريفه في الماضي يتلخص بكونها كمية الرادون Radon الموجودة في حالة توازن مع غرام واحد من الراديوم Radium أما اليوم فتعرف كما يلي :

الكوري هي كمية المادة المشعة التي تتفكك بنظم قدره 7و3 × 10 10 تفكك بالثانية . وبذلك أمكن تطبيق هذه الوحدة على كل العناصر المشعة . لهذه الوحدة اجزاء هي :

الميللي كوري ويرمز له بـ Mc Millicurie

والميكرو كوري ويرمز له بـ (μ C) Microcurie

والميللي ميكروكوري ويرمز له بـ C mμ Millimicrocurie

وهناك وحدة أخرى مستعملة في هذا المجال هي الرزرفورد Rutherford وتقابل كمية المادة المشعة التي تتفكك بنظم قدره 10 6 تفكك بالثانية ومن اجزائها نذكر الميللي رزرفورد والميكرورزرفورد .

طبيعة الإشعاعات وصفاتـها :

إن القدرة التي تصدر بفعلها الإشعاعات تقاس بما يدعى الإلكترون- فولت Electron- Volt (eV) والالكترون- فولت بالتعريف هو القدرة التي يكتسبها إلكترون واحد عندما يتحرك بحرية داخل حقل كهربائي ناتج عن فرق بالطاقة قدرة فولت واحد أو بمعنى آخر هو القدرة الحركية التي يكتسبها إلكترون واحد في حالة الراحة بفعل فرق بالطاقة قدره فولت واحد. ولأن القدرة المتمثلة بالإلكترون- فولت صغيرة نسبياً فيستعمل أضعافها مثل الكيلو إلكترون- فولت Kilo electron- Volt KeV (310 eV) والمغا إلكترون- فولت MeV وتعادل eV106.

الإشعاعات من نوع ألفا α :

وهي أثقل الدقائق الصادرة عن نواة العنصر، ويتم خلال إصدارها انخفاض بالعدد الذري بمقدار 2 وبالعدد الكلي بمقدار 4 (إصدار نواة الهيلوم) فمثلاً:

$$ {}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He $$

$$ {}^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{228}_{88}Ra + {}^{4}_{2}He $$

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}X + {}_{2}^{4}He + energe$$

وبصورة عامة:

إن للدقائق ألفا قدرة كبيرة نسبياً مابين 2 إلى 9 ميغا الكترون- فولت MeV مما يكسبها سرعة شديدة وهي تستطيع أن تقطع في الهواء بدرجة 15 ْ م وتحت ضغط جوي واحد مسافة تصل إلى 9 سم.

الإشعاعات من نوع بتا β:

يجتمع تحت هذا الاسم ثلاثة أنواع من التفككات تصدر كل منها إشعاعات خاصة بها وهي إشعاعات بتا السالبة -β ، أو مايدعى بالنه غاتون Negaton ، وشعاعات بتا الموجبة +β أو مايدعى بالبوزيتون Positon، وأخيراً مايوافق التقاط الكترون مداري K. وسوف نخص بالذكر الأولى والثانية فقط.

إصدار إشعاعات بتا السالبة -β :

يتم في هذه الحالة ازدياد بالعدد الجوهري للعنصر بمقدار (1) ولايتأثر عدده الكتلي، ومثال ذلك:

$${}_{88}^{228}Ra \rightarrow {}_{892}^{2284}Ac + e_{-1}^{0}$$

أو بصورة عامة:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}X + e_{-1}^{0} + energe $$

إن الإشعاعات بتا السالبة هي في حقيقتها الكترون مزوّد بسرعة كبيرة جداً ينطلق من النواة عندما يتحول فيها نترون إلى بروتون، وبدراسة هذا الإصدار بدقة لوحظ، يترافق بضياع قدروي اقترح W. Pouli لتعليله أن يقبل بأن إصدار حقائق بتا السالبة يترافق بإصدار دقائق جديدة تدعى نوترينو Neutrino معتدلة كهربائياً ولا كتلة لها تقريباً، ولذلك يمثل تحول النترون إلى بروتون مع إصدار الدقائق بتا السالبة بمايلي:

$$ {}_{0}^{1}n \rightarrow P + {}_{1}\beta + {}_{0}^{0}n $$

ومن خصائص الدقائق بتا السالبة أو النغاتون نذكر اجتيازها لمسافة تبلغ عدة أمتار في الهواء.

إصدار إشعاعات بتا الموجبة $\beta+$:

إن إصدار الإشعاعات بتا الموجبة أو البوزيتون Positon يحصل خاصة في حالة كون عدد البروتونات في النواة أكبر بكثير من عدد النترونات مما يخلق عدم ثبات تسعى النواة للتخلص منه بتحويلها البروتون إلى نترون

وذلك باطلاق شحنة موجبة هي إشعاعات بتا الموجبةأو البوزيتون، كما يترافق هذا الإصدار بإصدار نوترويبنو ومن ذلك يتضح أن العدد الكتلي يبقى ثابتاً وتنقص شحنة النواة الكهربائية بمقدار شحنة واحدة:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}X + {}_{+1}^{0}\beta $$

ويمثل تحول البروتون إلى نترون بما يلي:

$$ {}_{+1}^{1}P \rightarrow {}_{0}^{1}n + {}_{+1}^{0}\beta + {}_{0}^{0}n $$

إن الفرق مابين النغاتون، والبوزيتون هو اختلافهما بالشحنة فقط ويترجم ذلك باختلاف جهة انحراف كل منهما داخل حقل كهرطيسي خارجي.

إذا اجتمعت هذه الدقائق (بتا السالبة والموجبة) فإنها تتحد مع بعضها بسرعة وتتعدل شحناتها مما يؤدي إلى إصدار إشعاعات غما γ.

الإشعاعات من نوع غاما γ:

إن الإشعاعات من نوع غاما ذات طبيعة كهرطيسية وطول موجة صغير يقربها كثيراً من الأشعة السينية X وعند إصدارها لايحصل عموماً أي تغير في العدد الكتلي أو الذري:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z}^{A}X + \gamma $$

ولأن هذه الإشعاعات لاتحمل شحنة كهربائية فهي لاتغيِّر من اتجاهها عند تعرضها لحقل كهرطيسي، ومن صفاتها نذكر قدرتها النفوذية الكبيرة جداً.

إن إصدار الإشعاعات غما يتم عموماً عند كل التحولات المترافقة بتصدع نووي وفي التحولات المترافقة باكتساب نترون أو إصدار إشعاعات بيتا السالبة أو بيتا الموجبة أو حتى إصدار الإشعاعات ألفا. فمثلاً عند إصدار الإشعاعات بيتا المختلفة تكون النواة بحالة تنشيط معينة ففي أثناء عودتها إلى حالتها الأساسية تنطلق إشعاعات غاما.

العناصر المشعة الاصطناعية -التفاعلات النووية :

إن تفاعلات إصدار الإشعاعات التي ذكرناها آنفاً هي أمثلة على الإشعاع الطبيعي توجد بجانبها تفاعلات أخرى نستطيع بوساطتها الحصول على عناصر اشعاعية اصطناعية، وتدعى هذه التفاعلات بتفاعلات الرجم.

إن التفاعلات النووية لاتتدخل فيها إلا نواة العنصر وذلك بعكس التفاعلات الكيميائية والتي تتدخل فيها الإلكترونات المحيطية فيها فقط، ومن الممكن أن يتم تفاعل نووي عند رجم النواة بدقيقة أو جزيئة نووية وبكا أن النواة تكون مشحونة بشحنة إيجابية تعود إلى بروتوناتها لذلك فإن الدقائق الراجمة تلاقي صعوبة في اختراقالحاجز الكهربي المحيط بالنواة والذي يعاكس طبعاً اقتراب الدقائق ذوات الشحنة الموجبة (البروتونات) ولهذا وفي مثل هذه الأحوال لابد من تزويد الدقائق الراجمة بقدرة حركية كافية تمكنها من التغلب على هذا الحاجز ودخول النواة، هذا من ناحية

ومن ناحية أخرى نجد أنه (بسبب صغر حجم النواة بالنسبة إلى حجم الذرة كلها) هناك حاجة ماسة لاستعمال عدد كبير من الدقائق الراجمة بغية إكثار صدف التصادم بينها وبين النواة المعرضة للرجم. وتجدر الإشارة هنا إلى أن النترونات المستعملة بصفتها عوامل رجم لاتلاقي أية صعوبة في اقترابها من النواة وذلك لاعتدال شحنتها الكهربائية وهذه الخاصة تجعل من النترونات عوامل رجم ذات أهمية خاصة في هذا المجال.

قد تكون الدقائق الراجمة ذات شحنة كهربائية مثل الإلكترونات والبروتونات والدوترونات Deuterons وإشعاعات ألفا وقد تكون عديمة أو معتدلة الشحنة مثل النترونات وإشعاعات غاما.

تستخدم لزيادة سرعة الدقائق الراجمة ثلاثة أنواع من المسرّعات:

السيكلوترون Cyclotron وهو يزيد من سرعة الدقائق الثقيلة مثل النوترونات والبروتونات ودقائق ألفا.

البيتاترون Betatron ويزيد سرعة إلكترونات.

السينكروتون Synchoroton ويزيد سرعة الدقائق كبيرة القدرة مثل الدقائق غما.

لقد اكتشف أول تفاعل نووي من قبل رذرفورد Rutherford عام 1919 وذلك عند رجم الآزوت بدقائق آلفا الصادرة عن الراديوم مما أدى إلى إصدار بروتون وتشكل ذرة أوكسجين كتلتها 17:

$$^{14}_{7}N + \ ^{4}_{1}He \rightarrow \ ^{17}_{8}O + \ ^{1}_{1}H$$

بعد هذا توالت اكتشافات تفاعلات الرجم وكشفت خواصها وشروط القيام بها ومدى فوائدها في إعطاء النظائر.

تفاعلات الرجم:

الرجم بالنترونات:

تمثل النترونات كما مرّ معنا عوامل رجم جيدة وذلك لخلوها من الشحنة الكهربائية وبالتالي عدم تأثيرها بشحنات العنصر (الكترونات المحيط وبروتونات النواة) مما يسمح لها بالاقتراب من النواة واختراقها.

يتم هذا الرجم بصور عدة نذكر منها:

تفاعل نترون- غما (n, γ) :

ويتم فيه تثبيت نترون من قبل النواة المعرضة للرجم وبذلك يزداد عددها الكتلي ويبقى عددها الذري كما هو:

$$^{A}_{Z}X \xrightarrow[\ ^{1}_{0}n, \gamma]{} \ ^{A+1}_{Z}X$$

تفاعلات نترون- نترون (n, n) ونترون- مضاعف نترون $(n, 2n)$:

حيث يتم بعد التقاط نترون الرجم من قبل النواة إصدار نترون واحد أو أكثر:

$$^{A}_{Z}X \xrightarrow[\ ^{1}_{0}n, 2\ ^{1}_{0}n]{} \ ^{A-1}_{Z}X$$

وكمثال على ذلك نذكر:

$$^{31}_{15}p + \ ^{1}_{0}n \longrightarrow \ ^{30}_{15}p + 2\ ^{1}_{0}n \ + \ energe$$

تفاعل نترون- بروتون (n, p)، نترون- ألفا (n, α) ... ألخ:

حيث يتم فيها بعد التقاط نترون الرجم من قبل النواة إصدار واحدة أو عدة دقائق مشحونة.

الرجم بالبروتونات:

ونذكر منها تفاعلات البروتون- نترون (p, n) وتفاعلات البروتون- ألفا (p, α) وليس لها قيمة كبيرة في إعطاء النظائر.

الرجم بالدوترونات Deuterons:

نذكر منها تفاعلات الدوترون- آلفا (d, α) وتفاعلات الدوترون- نترون (d,n) وهي أهمها لقدرتها على أعطاء النظائر:

$$^{A}_{Z}X \xrightarrow[d,p]{} \ ^{A+1}_{Z}X$$

وكمثال نذكر تشكل النحاس النظير $^{64}_{29}Cu$ من النحاس $^{63}_{29}Cu$.

الرجم بالدقائق آلفا:

نذكر منها تفاعلات آلفا- بروتون (α , P) وتفاعلات ألفا نترون (α , n) وتفاعلات آلفا- مضاعف النترون (α , 2n) وليس لها أية أهمية في تكوين النظائر.

ونشير إلى أن أهم التفاعلات السابقة في توليد النظائر التفاعلات الثلاثة التالية:

نترون- غاما (n, γ) ونترون- مضاعف النترون (n, 2n) ودوترون- بروتون(d, p).

أجهزة قياس النشاط الإشعاعي:

تمتد أجهزة قياس النشاط الإشعاعي إلى تحري خصائص هذه الأشعة سواء منها المشرَد للغازات أو المحدث للفلورة أو التألق.

لدقائق ألفا وبتا قدرة مشردة للغازات كبيرة حتى عن بعد وذلك بسبب قوى التجاذب أو التنافر مابين هذه الدقائق والإلكترونات المحيطة بالنواة مما يؤدي إلى خروج الكترون من مدار محيطي وحدوث التشرد وبالتالي تكوّن شارجبات وشارسبات أما فعل الأشعة غما المشرد فلا يفسر إلا باصطدامها بالذرات مباشرة اصطداماً يتولد عنه حدوث التشرد.

تشرد الغازات:

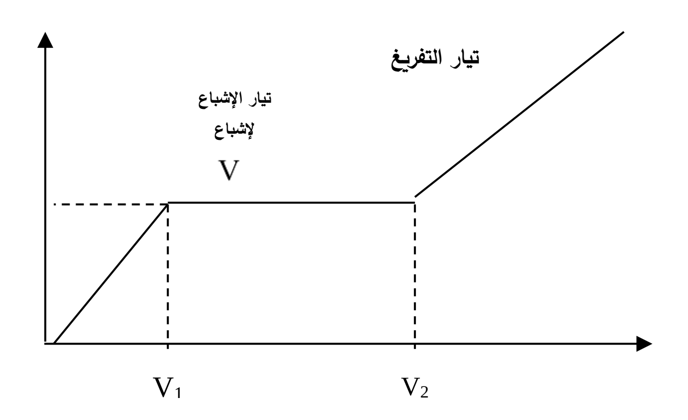
إن قياس شدة تشرد غاز ما بفعل الإشعاعات يمكنه أن يخبرنا بطريق غير مباشر عن مدى قوة هذه الإشعاعات التي أحدثته، فإذا كان لدينا قطبان مناسبان وطبقنا عليهما فرقاً في الطاقة معيناً

ووضعنا بينهما غازاً قابلاً للتشرد نجد أنه عند حدوث التشرد الغازي تتجه الشوارد المتكونة نحو الأقطاب ويتولد نتيجة لحركة الشوارد هذه تيار كهربائي يدعى بتيار التشرد Courant d'ionisation يمكن قياس شدته ومعرفتها.

لنفرض الآن أنه لا يوجد أي فرق بالتوتر مابين القطبين ولنفرض أيضاً إن الإشعاعات المشردة موجودة فبمثل هذه الأحوال لايمكن أن يزداد التشرد إلى ما لانهاية وذلك بسبب حدوث اتحاد جديد مابين الشوارد المتولدة إلى أن يتم الحصول على حالة توازن يكون فيها عدد الشوارد المتولدة معادلاً عدد الشوارد المتحدة.

لنتصور الآن أننا طبقنا فرق توتر متزايداً على القطبين وبأن الإشعاعات المشردة موجودة فيتم ارتحال الشوارد ومرور التيار الكهربائي ونصل بزيادة فرق التوتر أو الكمون المطبق إلى درجة يقف معها أي اتحاد مابين الشوارد المتشكلة وتصل جميعها إلى الأقطاب ولاتؤدي زيادة فرق التوتر المطبق لحد معين بعدها أي زيادة في التيار المقيس، وهذه اللحظة يصل فيها التيار إلى حالة الإشباع ويدعى حينها بتيار الإشباع Courant de Saturation.

فإذا زدنا فرق التوتر إلى فوق الحدّ الأول وأعطيناه قيمة كبيرة فإن الشوارد الحاصلة نفسها وخصوصاً منها السالبة وبسبب اكتسابها لسرعة عظيمة جداً تصبح قادرة على إحداث تشرد عن طريق التصادم فيحدث تفريغ كهربائي جديد مولد لتيار كهربائي مختلف عن التيار الأول يدعى بتيار التفريغ.



V

شكل رقم (7-22)

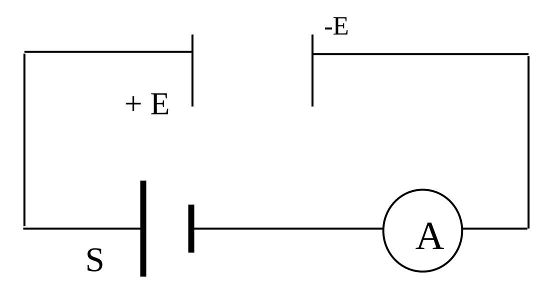
إن قياس تيار الإشباع هو مبدأ غرف التشرد في حين أن قياس تيار التفريغ هو عداد غيفر- موللر.

قياس الإشعاعات بالاستناد إلى تشرد الغازات:

غرف التشرد: تتألف غرف التشرد من حجيرة مملوءة بأحد الغازات وحاوية قطبين يطبق عليهما فرق توتر يقرب 100- 200 فولت.

توضع المادة المشعة إما داخل الحجيرة أو خارجها وفي هذه الحالة الأخيرة يكون للحجيرة نافذة رقيقة الجدار جداً من الألمنيوم أو من أي مادة أخرى مناسبة تستطيع الدقائق اجتيازها بسهولة.

فعند تعرض الغاز الموجود داخل الحجيرة للإشعاعات فإنه يتشرد ويمرّ تيار كهربائي تتناسب شدته مع الإشعاع، يقاس هذا التيار عادة بعد تكبيرة بوسيلة مناسبة.



شكل رقم (7-23)

مخطط غرفة تشرد: E, E - الأقطاب

A-مقياس شدة التيار.S- منبع للتيار الكهربائي

عداد غيفر- موللر:

يتألف هذا العدّاد من قطبين المهبط منهما بشكل أنبوب معدني طوله 5 سم قطره2-3 سم والمصعد منهما يتمثل بخيط معدني (غالباً من التنغستين)

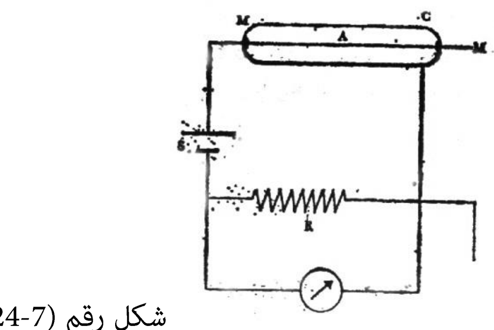
معلق بقطر الأنبوب المهبطي وداخل الأنبوب غاز نقي (هيدروجين، أرغون أو نيون ...) تحت ضغط خفيف. يطبق على القطبين فرق توتر مستمر يصل إلى 1500- 2000 فولت.

عندما تصل إلى العدادات إشعاعات مشردة يتم حدوث أزواج من الشوارد ونظراً لتجاوز فرق التوتر المطبق لحد معين يبدأ تيار التفريغ بالتكوين وذلك بالاصطدامات المتكررة بين الشوارد مما يولّد عدداً كبيراً من الإلكترونات يتم بوصولها إلى المصعد حدوث انفراغ كهرباوي يمكن قياسه بإدخال مقاومة مناسبة مابين المنبع الكهرباوي والعداد وتتم هذه الانفراغات على شكل نبضات Impulsions كهربائية يتراوح تواترها مابين 1- 100 فولت وهي تكبر وتقاس إما بتعدادها (إضاءة مصباح مثلاً وعدّ عدد إنارته في الدقيقة) وأما بتسجيل عددها بواسطة مسجل إلكتروني، وهو الأفضل.

إن العداد الجيد يسجل نبضة عندما تجتازه دقيقة من الدقائق ومع ذلك لابد له من زمن يتم فيه دورته لأن الشوارد الموجبة ولكونها ثقيلة جداً بالنسبة إلى الإلكترونات تستهلك زمناً قدره 10-4 ثانية حتى تصل إلى المهبط، وهذا الزمن لايبدي فيه العداد أي تفاعل

ويبقى متوقفاً ولذلك يدعى هذا الزمن بزمن التوقف أو الموت أو بالأحرى الزمن الميت بالنسبة للعداد Temps mort

وفيه لايستطيع العداد أن يجيب إذا تعرض لدقيقة جديدة، ولايسجل أي انفراغ ولهذا يحاول إنقاص هذا الزمن بقدر الإمكان بإضافة بعض الجزيئات العضوية كالغول.



شكل رقم (7-24)

مخطط عداد غيفر- موللر

S: منبع للتيار 1500- 2000 فولت. R: مقاومة

A: المصعد.

C : المهبط ويحوي غاز تحت ضغط 5- 20 سم زئبق

M, M: مواد عازلة

في حالة كون عدد النبضات التي يسجلها العداد أقل من مئة بالدقيقة فإن الأمر بغاية السهولة أما عندما تكون هذه النبضات أكثر من ذلك فلا بد من اللجوء إلى العدادات الألكترونية.

قياس الإشعاعات بالاستناد إلى حوادث الفلورة أو التألق:

يستند هذا القياس إلى أن اصطدام الدقائق المختلفة بلوحة من كبريت التوتياء يؤدي إلى حصول تألق أو فلورة يمكن قياس شدة إضاءتها بعد تكبيرها بمكثر مناسب Photomultiplicateur بخلية كهرضوئية. ثم تسجيلها.

إن مثل هذه الأجهزة مستعمل بكثرة في قياس الإشعاعات من نوع غاما وذلك لشدة قدرتها.

تطبيقات النشاط الإشعاعي التحليلية:

المعايرة بالتمديد النظائري :

تقوم هذه المعايرة على الفرضية القائلة إن العنصر المتكون من نظائر عدة يحتفظ بالشروط نفسها الفيزيائية والكيميائية على التركيب نفسه وذلك خلال التحولات الكيميائية الجارية عليه. فإذا احتوى محلول من المحاليل n غ من عنصر غير مشع x يراد معايرته (بشكل ملح معين مثلاً) فإننا نضيف إليه S غ من العنصر x نفسه على شكل الملح نفسه ولكنه موسوماً،

بعد ذلك نستخلص جزءاً من هذا المركب بوسيلة مناسبة ونقيس نشاطه النوعي، ومن معرفة النشاط النوعي للمركب المعزول والنشاط النوعي للمركب الموسوم المضاف في بداية التفاعل يمكن استنباط عيار المحلول بسهولة.

إن الفعالية النوعية للمركب المعزول a تصبح معادلة لـ:

$$a = \frac{AxS}{S + n}$$

حيث A هي فعالية المركب الموسوم المضاف. إن قياس الفعالية النوعية يتم بعداد غيجر- موللر وذلك بمعرفة عدد الدقات المعادلة لغرام واحد من المادة بدقيقة واحدة.

ومن المعادلة السابقة نستنتج:

$$n = S(\frac{A}{a} - 1)$$

طريقة التحليل بالتنشيط:

يمكن بفضل هذه الطريقة التخلص من صعوبة معايرة الأجسام الموجودة بشكل آثار زهيدة والتي يصعب حساب تراكيزها حتى بطرق التحليل الدقيق Microanalyse، وطرق التنشيط هذه تُعاير بنجاح ودقة كبيرين كميات تصل حتى 10-6 غ من العنصر.

يقوم مبدأ هذه الطريقة على تعريض المادة المراد تحليلها بشروط محددة لسيالة من الدقائق السريعة مثل النترونات فيحدث تحت تأثيرها تحويّل في بعض العناصر الموجودة في الوسط إلى عناصر مشعة، بعد ذلك يقاس نشاط هذه العناصر الإشعاعي وتتم المعايرة بالمقارنة مع شاهد في الشروط نفسها.

قد يمكن لهذه المعايرات أن تتم دون فصل للعنصر المشع المتكون عن غيره في الوسط وخاصة إذا كانت أدوارها مختلفة تماماً عن دوره، أما في الحالة المعاكسة فلابد من عملية الفصل.

الوقاية ضد الإشعاعات:

إن التعرض للإشعاعات خطورة أكيدة تحتم على العاملين بها اتخاذ كل الاحتياطات الضرورية لحماية أنفسهم من ضررها، وهذه الإشعاعات مهما كانت طبيعتها وحجومها وشحناتها فإن خواصها الضارة تقوم على صفاتها المشردة.

إن مصدر خطر الإشعاعات قد يكون خارجياً وذلك عند التعرض لمنبع مشع خارجي، وقد يكون داخلياً ناجماً عن التعرض لإشعاعات دواء أدخل إلى البدن الحي.

ولذلك كان لابد قبل التكلم على سبل الوقاية من أن تحدد بصورة تقريبية المقادير التي يمكن احتمالها من هذه الإشعاعات، وهو مايستدعي التعرض لتعريف مختلف الوحدات الإشعاعية المستعملة في هذا المجال وتحديدها.

أكثر الوحدات استعمالاً في المجال الحيوي لتعيين مقادير الإشعاعات هي الرونتجن Rontgen ويرمز لها بـ R وتعبر عن كمية الإشعاعات x أو غما التي تولّد في 1.293 مع من الهواء (أي 1 سم3 من الهواء في الشروط النظامية) كمية من الشوارد تحمل وحدة كهربائية ساكنة. ولأن كل زوج من الشوارد يحمل شحنة قدرها 4.08 × 10-9 كولوناً فإن عدد الأزواج المتشكلة بتأثير رونتجن واحد يعادل إلى 2.08× 10-10 زوجاً بالسم3 من الهواء في الشروط النظامية.

إن كل رونتجن واحد يوافق امتصاص 5.24× 10 7 Me V من قبل غرام واحد من الهواء ولقد اصطلح على عد المعادل الفيزيائي للرونتجن

Roentgen- equivalent- Physical أو مايدعى اختصاراً الريب REP معادلاً كمية الإشعاع المادي الذي يترك لغرام واحد من النسيج القدرة نفس التي يتركها رونتجن واحد إلى غرام واحد من الهواء أي 5.24× 10 7 Me V.

إن الرونتجن والريب يمكن تطبيقهما على النسج الرخوة ولايمكن تطبيقهما على العظام والنسج الشحمية ولهذا وضعت وحدة جديدة لاتتعلق بطبيعة المادة هي الراد RAD وتعادل كمية الإشعاع الذي يوافق إلى امتصاص قدرة تصل إلى 100 أرغه من قبل غرام واحد من المادة المعرضة للإشعاع.

لتطبيق الوحدات على الإنسان أوجدت وحدة الريم Roentgen REM Equivalent-Man وتعادل كمية الإشعاع مهما كانت طبيعته والتي إذا امتصها قبل جسم الإنسان أدت إلى نتيجة حيوية معادلة إلى امتصاص رونتجن واحد من الأشعة السينية أو أشعة غما.

إن المقدار الذي يمكن للإنسان احتماله دون أي ضرر من أشعة X أو أشعة غما يعادل 0.3 رونتجن أسبوعياً ومن الأشعة بتا يصل إلى 0.3 ريب أسبوعياً في حالة إشعاعات ألفا.

إن دخول هذه النظائر إلى البدن الحي عن الطريق الهضمي أو التنفسي أو الجلدي يحدث تسمماً مزمناً وتراكماً خاصاً عند الأشخاص المشتغلين بها وفي هذه الحالة إن وجودها الدائم في البدن يؤدي إلى تعرض دائم لضررها. أما في حالة التعرض للإشعاعات من منبع خارجي فإن الفعل الضار يزول بمجرد الابتعاد عن المنبع (مكان العمل).

لابد إذن من أخذ الاحتياطات الشديدة الكفيلة بمنع كل تسرب لهذه المواد إلى الطريق الهضمي أو التنفسي أو الجلدي وذلك باستخدام كل ما يحقق ذلك من آلات ووسائل واقية وأمتعة مناسبة، كما يجب العمل بأمكنة جيدة ومجهزة بالوسائل الواقية لمنع تلوث الطاولات والصنابير والملابس.

كما نشير إلى وجوب توجيه عناية طبية خاصة للعمال المشتغلين بمثل هذه الأمكنة وبفحصهم فحوصاً طبية دورية وإجبارية وتغذيتهم بموجب نظام غذائي معين غني بعنصر الكالسيوم.

ونشير أخيراً إلى أن الأثر المؤذي للعناصر الإشعاعية الداخلة إلى البدن الحي من الطريق التنفسي يتعلق بدور لعنصر المشع (كلما زاد دور العنصر كبراً زاد فعله الضار) وبمدة انطراحه وخروجه من البدن.

الفصل السابع عشر

الفيزياء الحيوية

الفيزياء كعموم هى العلم الذى يعنى بدراسة الخواص والصفات الطبيعية للأشياء غير الحية وتفسيرها واستنباط القوانين التى تحكم وجودها وحركتها وتفاعلاتها مع الأوساط المحيطة بها ومن أهم ما أظهره ذلك العلم هو الفارق بين المادة والطاقة وخواص وقوانين كل منهما.

أما الفيزياء الحيوية فقد استحدثت لدراسة نفس المجالات ولكن بالنسبة للكائنات الحية.

يمكننا القول بأن الفيزياء الحيوية هى الدراسة الفيزيائية للحياة على كل مستوياتها من الذرة حتى البيئة الكونية ككل

كما يمكن تعريف الفيزياء الحيوية على أنها أحد الاختصاصات (المتداخلة) التي تعمل على دراسة وتطبيق نظريات و مناهج الفيزياء على علم الأحياء.

كلمة متداخلة تعنى أنها ليست علما واحدا بل هى تداخل العديد من العلوم كالفيزياء والكيمياء والأحياء والرياضيات لتحقيق تلك الدراسة وتطبيقاتها.

قد لا يمكن تحديد جميع أفرع الفيزياء الحيوية بسهولة فهذا العلم يتدخل فى دراسة مجالات فى غاية التشتت تنمو يوما بعد يوم ويضاف اليها كل فترة فرع جديد

فمثلا تبدأ تخصصات هذا العلم بدراسة الكائنات الحية على المستوى الدقيق جدا للجزيئ المكون للمادة الحية (فيزياء حيوية جزيئية) وتنتهى بدراسة البيئة ككل (ف حيوية بيئية)

الفيزياء الحيوية هى علم حديث نوعا ما قد لم يكن معروفا قبل 125 عاما من الان فقد استخدم المصطلح لأول مرة بواسطة كارل بييرسون سنة 1892 فى كتابه قواعد العلوم The Grammar of Science حينما اقترح أن تكون هناك دراسات علمية تربط الفيزياء بالبيولوجى.

فى عام 1943 بدأErwin Schrodingerمجموعة محاضرات له باسم (ماهى الحياة) جمعها بعد ذلك فى كتاب بنفس الاسم وأضاف له جملة (الجوانب الفيزيائية للخلية الحية) وقد تكون هذه أولى الخطوات الفعلية لبداية تلك النوعية من الدراسات.

فى سنة 1946 انشئ فى جامعة كينج بلندن وحدة تحت اسم وحدة الراسات البيوفيزيائية.

Biophysics Research Unit of King's College.

من أهم من انضموا لتلك الوحدة كانت روزاليند فرانكلين مع موريس ويلكنس الذان استخدما أشعة اكس لدراسة الحامض النووى ووضعا تخيلا لشكله المعروف فيما بعد

لماذا تعتبر الفيزياء الحيوية مهمة؟

ساهمت اكتشافات الفيزياء الحيوية بشكل عظيم جدا فى تحسين حياة الانسان فى خلال العقود الأخيرة فمنذ اكتشاف تركيب وشكل الحامض النووى بدأت تتوالى المعلومات عن البروتين والجينات.

البروتين من أهم مكونات الحياة فهو ما يقوم بكل التفاعلات الكيميائية فى الجسد- عمل العضلات- وحركة الكائن الحى- ومكون أساسى فى اعضاء الحس كالعين والاذن والانف- نقل الاشرات العصبية من والى المخ وداخله-عمل عضلة القلب-تحول الطعام لطاقة والضوء لرؤية- مكون رئيسى فى جهاز المناعةوبناء ما يتلف من الانسجة والكثير الكثير.

الفيزياء الحيوية بينت لنا كل هذه المعلومات التى كانت مبهمة فى علم الطب من قبل فالان نحن لدينا معلومات دقيقة جدا عن أكثر من 50 ألف بروتين نستخدمها لمعرفة الامراض وأيضا فى علاجها مثل علاج الامراض الوراثية.

فى خلال العقد ونصف الماضى اكتشف البيوفيزيائيون التركيب الجينى الكامل للانسان ووضعوا خريطة له.

بعض التطبيقات التى نعيشها من انجازات الفيزياء الحيوية.

وصف لعملية نسخ الحامض النووى.

تصميم وزراعة اجهزة تنظيم ضربات القلب ومعالجات فشل عضلة القلب.

اكتشاف الخرائط الجينية وتصميم أجهزة المقارنة بين الجينات.

تحوير الكائنات الدقيقة لانتاج الوقود الحيوى.

الدورة البيولوجية للماء والضوء والحرارةوالكربون والنيتروجين على كوكب الأرض.

دراسة عمليات البناء الضوئى وتكوين الطاقة فى النباتات.

تطبيقات التصوير الطبى التى أنتجت ثورة فى عام التشخيص الدقيق لما لم يكن معلوما من قبل.

أفرع الفيزياء الحيوية :

يمكن تقسيم تخصصات الفيزياء الحيوية حسب حجم المادة أو المجال المدروس الى 3 أفرع رئيسية كالتالى:

- الفيزياء الحيوية الجزيئية و التحت خلوية

- الفيزياء الحيوية الفسيولوجية والتشريحية

- الفيزياء الحيوية البيئية

سنقوم باختصار بعرض بعض مجالات كل تخصص والتعرض لأحد المجالات بالشرح

الفيزياء الحيوية الجزيئية و التحت خلوية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

هيكل وتشكل الجزيئات البيولوجية

الفيزياء الحيوية للبروتين

العلاقات الوظيفية الهيكلية

خواص الإنتشار والنقل الجزيئي

بيوفيزياء الأغشية

بيوفيزياء الأحماض النووية

تدفق الطاقة والطاقة الحيوية

الديناميكا الحرارية

الميكانيكا الإحصائية

الآلات الجزيئية

الفيزياء الحيوية الفسيولوجية والتشريحية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

الميكانيكا الحيوية

الكهروفسيولوجى

بيوفيزياء الأعضاء الحسية

الفيزياء الحيوية البيئية

تحت هذا الفرع يمكن دراسة الموضوعات التالية:

بيوفيزياء الحرارة والتأثيرات الحرارية البيئية

بيوفيزياء الموارد البيئية

الفيزياء الحيوية الإشعاعية

الهندسة الحيوية البيئية

البروتينات واحدة من الجزيئات الضخمة الحيوية إلى جانب عديدات السكريدات والدهون والأحماض النووية، وهذه الجزيئات الضخمة الحيوية تشكل بمجموعها مكونات المادة الحية الأساسية.

الأحماض الأمينية المكونة للبروتين هى مواد تحتوي على مجموعة كربوكسيل -COOHحمضية ومجموعة أمين -NH2قاعدية لذا فإن لها تأثير متعادل - ترتبط تلك الأحماض مع بعضها بروابط كيميائية (الروابط الببتيدية) ثم تتشكل من هذا الشكل الأولي إلى أشكال ثانوية وثالثية ورابعية طبقا لروابط أخرى - هيدروجينية وأيونية - تحافظ على شكل البروتين إما كروي globularأو خيطي .fibrous

يتميز كل بروتين ببنية مختلفة عن البروتينات الأخرى، تدعى هذه البنية بالحالة الأصلية للبروتين وتتحدد حسب ترتيب الأحماض الأمينية في عملية الترابط التي تشكل السلاسل البروتينية.

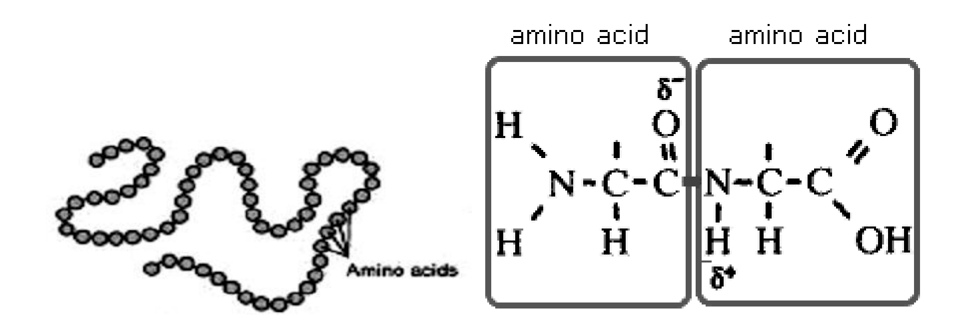
يمكن للبروتينات أن تربط بها جزيئات كيماوية متنوعة وشوارد معدنية ضمن تجويفات خاصة في بنيتها تدعى:مواقع الارتباط Bindingsites ومع ذلك تتميز البروتينات باصطفائية كيميائية عالية تجاه المركبات التي ترتبط بها. تدعى المركبات التي ترتبط بالبروتينات لجينات ligand،أما شدة الارتباط بين اللجين و البروتين فهي إحدى خصائص موقع الارتباط وتدعى الألفة .affinity

بما أن البروتينات تتدخل في كل عملية تتم ضمن الخلايا الحية، لذلك فإن التحكم في العمليات الحيوية يمكن أن يتم عن طريق التحكم بفعالية هذه البروتينات. هذا التنظيم لعمل البروتينات يمكن أن يتم عن طريق شكل البروتينات أو تركيزها :

تحوير تفارغي Allosteric modulation

تحوير تساهمي .Covalent modulation

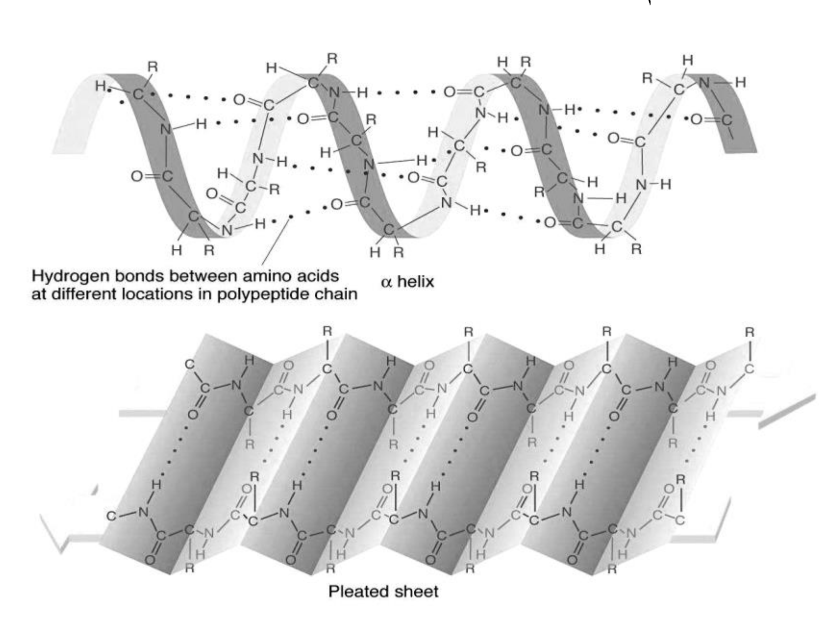
البنية الأولية: وفيها وصف لترتيب الأحماض الأمينية كمتتابعة متصلة فى الجزيئ فقط



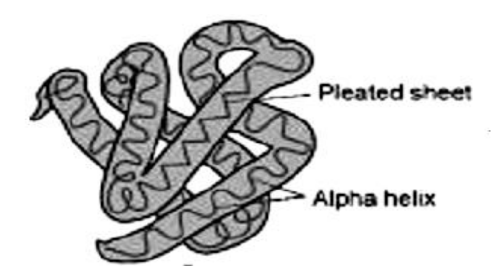
هنا تركيب الحمض الأمينى وفيه توجد سلسلة جانبية هى التى تختلف من حمض الى حمض لتعطى كل واحد من الاحماض صفاته المميزة.

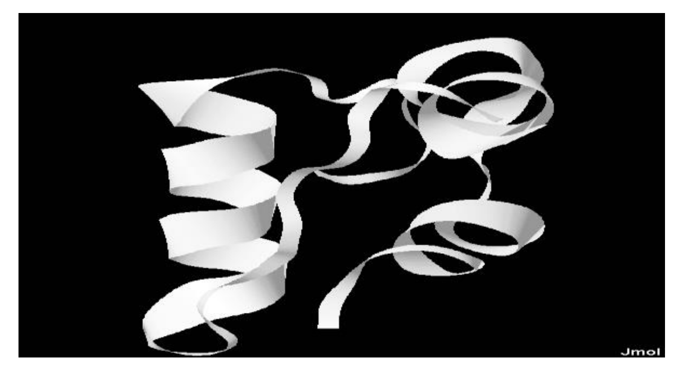
ترتبط الأحماض الامينية بعضها ببعض عن طريق رابطة ببتيدية وهكذا حتى يتكون الشكل الكامل لجزيئ البروتين على شكل سلسلة

البنية الثانوية: وفيها وصف للشكل ثلاثى الأبعاد لجزيئ البروتين بشكل مبسط لاحتمالية وجود الجزيئ أو بعض منه إما على شكل حلزونى (ألفا) أو شريط منثنى (بيتا) كما بالرسم



البنية الثالثية: وفيها وصف للحالة التى يكون عليها الجزييء النهائي حينما ينثنى الشريط أو الحلزون حول نفسه مرات ومرات حتى يكون شكلا كرويا تقريبا ولكن لنفس السلسلة من الأحماض الأمينية فقط





البنية الرابعية: وفيها يتم وضع التصور لشكل الجزيئ فى حال تكونه من أكثر من سلسلة أحماض أمينية ملتفة كل حول نفسها ثم حول الأخرى

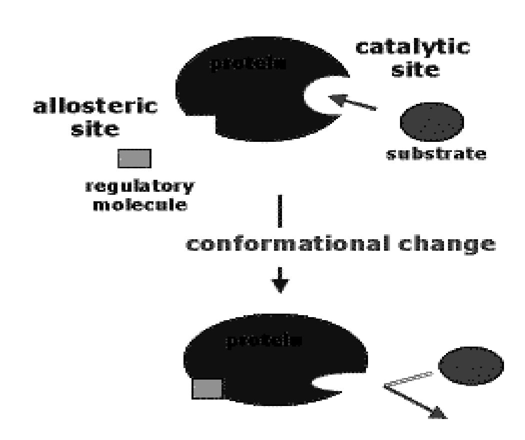


بعض الجزيئات البيولوجية قد تتواجد على صورة البنية الأولية والثانوية فقط مثال لذلك السكريات البسيطة والاحماض الامينية أما معظم الجزيئات البيولوجية فتتواجد فى صورة البنية الثالثية وأحيانا بعضها مثل البروتينات المعقدة على صورة البنية الرابعية .مثلا نموذج لجزيئ بروتينالميوجلوبين يتواجد على الصورة الرابعية متكونا من عدة سلاسل متداخلة وكذلك جزيئ الانسولين

الدراسة البيوفيزيائية للجزيئات تضع هذه التصورات الدقيقة بناء على حسابات القوى المتواجدة بين المكونات والطاقة اللازمة لتكون وتماسك هذا الجزيئ الحيوى.

العلاقات الوظيفية الهيكلية:

يتم دراسة تأثير الشكل المستنتج للجزيئ على قيامه بوظائفه ودراسة التغيرات التى تطرأ عليه فى التفاعل مع جزيئات أخرىفمعظم البروتينات من الممكن أن تتواجد فى صورة نشطة مختلفة عن صورتها غير النشطة وذلك عن طريق وجود عناصر محفزة للتحول بين الوضعين.



البنية الأولية والثانوية والثالثية عادةً ماتتعلق بالبروتينات ذات التراكيب المطوية.

أما بالنسبة للبنية الرابعية فهي عادةً ماتتعلق بالبروتينات أو الدهون ذات التجمع الذاتي .self-assembly

البنية البروتينية غير ثابتة إطلاقا بل تتغير لتأدية وظائفها المختلفة ولتحقيق هذا التغيير البنيوي يحدث تغير في ارتباطات البنية الثالثية والرابعية، لذلك تسمى البنية الثالثية والرابعية بالتشكيلات الكيميائية وما يحدث لها من تغيرات بالتغيرات التشكيلية conformational changes

وهى أحد جوانب الدراسات البيوفيزيائية الهامة التى توضح هوية البروتين أثناء قيامه بوظائفه الطبيعية وأيضا فى الحالات الغير طبيعية كالأمراض مثلا.

الماكينات الحيوية الجزيئية

تعتبر الخلية الحية بمثابة مصنع حيوى متكامل للغاية بتنسيق معمارى متعدد الوحدات لديه مركز تحكّم يخبره ماذا يعمل ,و مولّد لتوليد الطّاقة والآلات لعمل المنتجات.

لدى جسم الإنسان أكثر من 10 تريليون من الخلايا ذات الأشكال المختلفة وتصنّف الخلايا البكتيريّة بين الأصغر, بينما الأكبرهي بيضة الطائر .

(يمكن أن تكون خلايا العصب الحركيّ طويلة جدًّا -اكثر من 1م)

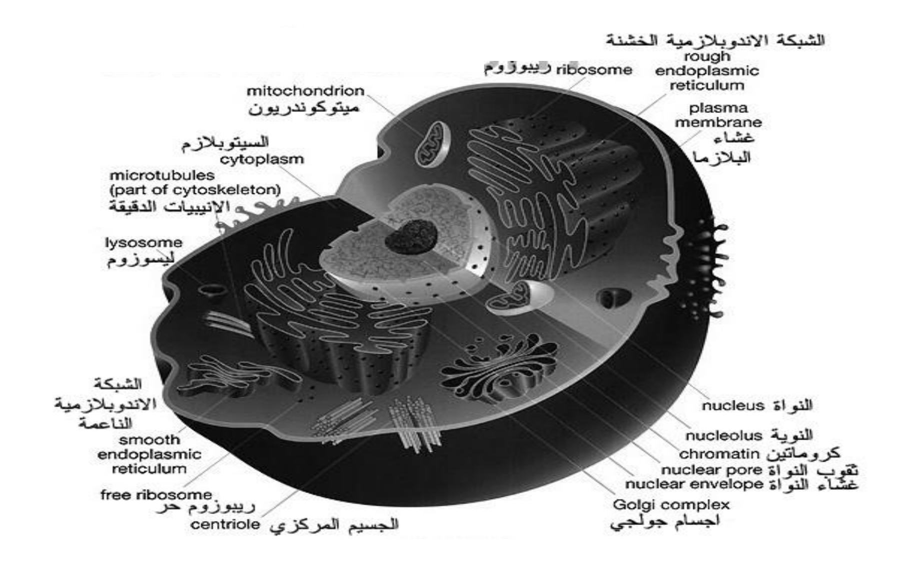
يمكن اطلاق لفظ الماكينة الحيوية الجزيئية على أى من الوحدات الموجودة داخل الخلية التى يمكنها أن تقوم بحركة شبه ميكانيكية عند تعرضها لمؤثر معين موجه لها. هذه الماكينات تجمع عددا كبيرا من البروتينات والاحماض النووية ولها وظائف محددة للغاية وتتراوح احجامها من 10 الى 150 نانومتر وفيها تتوفر البيئة المحددة لحدوث تفاعل كيميائى معين بدقة شديدة لانتاج منتج نهائى أو تحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة ميكانيكية لازمة لوظائف الخلية.

تعمل هذه الماكينات بشكل دورى وقادرة على اعادة ضبط نفسها تلقائيا.

تركيب الخلية

تختلف الخلايا من حيث شكلها وبنيانها تبعاً لأماكن تواجدها فى الجسم ووظائفها الحيوية وتشكل بأشكال مختلفة ، البعض له شكل ثابت ، مثل الخلايا المنوية والخلايا البويضية والخلية العصبية . والبعض الآخر أشكاله مختلفة مثل خلايا الدم وتختلف الخلايا فى الحجم حيث يتراوح حجم الخلايا فى الإنسان ما بين 200 و 1500 ميكرون.

تتميز الكتلة البروتوبلازمية للخلية إلى جزئين رئيسين ، جزء فى النواة يسمى النيوكليوبلازمNucleoplasm،والآخر يحيط بالنواة ويسمى السيتوبلازم Cytoplasm،وتحاط النواة بغشاء رقيق ، هو الغشاء النووى Nuclear membrane تحاط الخلية بأكملها بغشاء آخر يسمى غشاء الخلية Plasmalemma or cell membrane .



ويحتوى السيتوبلازم على عدة تراكيب حية تسمى العضيات السيتوبلازمية organelles Cytoplasmic كما يحتوى على عدة مواد غير حية تسمى الميتابلازم أو الديوتوبلازم Metaplasm or deutoplasm ومن العضيات الحية الميتوكوندريا وجهاز جولجى والبلاستيدات فى الخلايا النباتية .

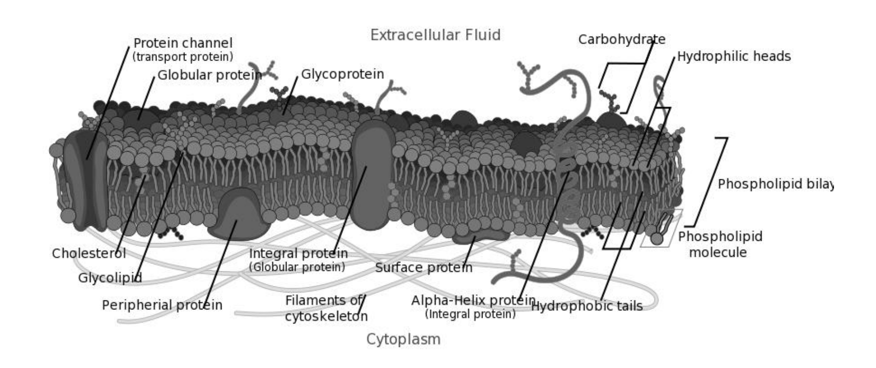
أما الميتابلازم فيتضمن الجليكوجين والنشا والحبيبات الدهنية والقطرات الزيتية وبعض المواد الآخرى كالصبغيات والمواد الإفرازية والنواتج الإخراجية وغيرها .

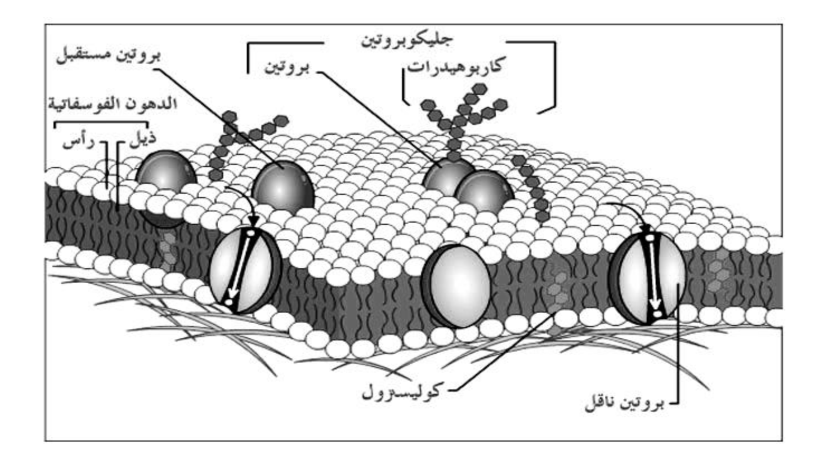
غشـاء الخليــة Cell Membrane

كل خلية محاطة بغشاء رقيق جداً (سمكه حوالى 100 انجستروم) يتركب من بعض الدهون والبروتينات وتبعا لذلك فإنه كلما كانت المواد أكثر قابلية للذوبان فى الدهون كلما كان معدل انتشارها أسرع خلال الأغشية الخلوية.

يقوم غشاء الخلية بدور أساسى فى تنظيم مرور المواد الذائبة بين الخلية والوسط المحيط بها ، ويطلق على هذه الخاصية بصفة عامة النفاذية Permeability وهى الوسيلة التى تعمل على تنظيم دخول مواد معينة ذات أهمية أساسية فى بناء المادة الحية للخلية .

كذلك يقوم غشاء الخلية بتنظيم خروج النواتج التالفة والمواد الإفرازية، وكذلك الماء الزائد عن حاجة الخلية.





تعتمد نفاذية الخلية على الحالة الفسيولوجية للخلية ، ودرجة تركيز الأملاح فى الوسط المحيط بالخلية ، ودرجة الحرارة وتلعب نفاذية غشاء الخلية دوراً هاماً فى التحكم فى خروج نواتج أنشطة التمثيل الغذائى المختلفة من الخلية .

ويتأثر غشاء الخلية بصورة واضحة بعوامل معينة تتسبب فى تحلله وتفككه ، مثل الأجسام المضادة والمعادن الثقيلة والأشعة السينية ومذيبات الدهون .

ويتكون الغشاء الخلوي من:

أولا :الدهون ولها أربعة أنواع :

الدهون الفوسفاتية .Phospholipids

الكولسترول .Hydrophobic

الدهون السكرية .Glycolipids

الدهون البروتينية .Lipoproteins

ثانيا :البروتينات ولها أربعة أنواع:

بروتينات حاملة (.Carrier proteins)

بروتينات مستقبلة (.Receptor proteins)

بروتينات تعريف الخلية (.Cell recognition)

بروتينات أنزيمية (.Enzymatic proteins)

التركيب الجزيئي Molecular Organization

توجد الدهون على هيئة صف مزدوج من الجزيئات محصورة بين طبقتين من جزيئات البروتين إحداهما للخارج والأخرى للداخل منها.

يوجد ثقوب دقيقة في غشاء الخلية بعض هذه الثقوب يحمل شحنات كهربائية موجبة والبعض الأخر يحمل شحنة سالبة، مما يجعلها تلعب دوراً هاما في ضبط وتنظيم مرور شوارد المواد الذائبة المختلفة إلى الداخل وإلى الخارج من الخلايا.

تلعب البروتينات المكونة للغشاء أدواراً مهمة, فبعضها يعمل عمل الأنزيمات والنواقل كما أن لبعضها دوراً في استقبال المعلومات الكيميائية مثل الهرمونات.

يعود الاختلاف بين خلية وأخرى إلى التنوع في أنواع الكاربوهيدرات المرتبطة بجزيئات بروتينات غشاء الخلية مثل فصائل الدم A,B,AB,O.

هناك نوعان من الشبكة الإندوبلازمية : ـ

الشبكة الإندوبلازمية الخشنة أو المحببة Granular rough endoplasmic reticulumيتميز هذا النوع بوجود عدد كبير من الحبيبات الدقيقة على سطح الخارجى للشبكة هذه الحبيبات غنية بحامض الريبونيوكليك والبروتينات والريبوسومات ribosomesوتمثل الريبوسومات مواقع تخليق البروتنيات فى الخلية ، ولذا فهى تتوفر بكثرة فى الخلايا التى تتميز بنشاطها فى بناء البروتينات كالكبد والبنكرياس

الشبكة الإندوبلازمية الملساء أو غير المحببة Agranular or Smooth endoplasmic reticulumويتميز هذا النوع بخلوه من الريبوسومات، ويقتصر وجوده على أنواع قليلة من الخلايا مثل الخلايا الصبغية الطلائية لشبكية العين والخلايا العضلية الإرادية ، ويبدو أن الشبكة تقوم بدور حسى فى مثل هذه الخلايا .

تتكون أغشية الشبكة الإندوبلامية من مواد دهينة وبروتينية متحدة مع بعضها البعض فيما يسمى بالمركبات الليبوبروتينية وتلعب الشبكة الإندوبلامية ، وبخاصة النوع الحبيبى ، دوراً فى عملية تخليق البروتينات وتكوين الإفرازات فى الخلية ، وهناك وظيفة آخرى محتملة للشبكة الإندوبلازمية ، وهى أن تجاويفها قد تعمل كممرات يتخللها نقل مختلف المواد بين الأجزاء السيتوبلازمية المختلفة ، ومن النواة إلى خارجها.

الريبوسومـات Ribosomes

الريبوسومات عبارة عن حبيبات صغيرة كروية الشكل توجد أما على أغشية الشبكة الإندوبلازمية أو معلقة حرة فى السيتوبلازم وتتركب من حوالى 60% Ribosomal RNAو40% بروتين والريبوسومات ترتبط بنوع معين من الـ RNA وهو(MRNAالرسول (Messanger RNA والناقل TRNA (Transfer RNAيتكون فى نواة الخلية كنتيجة للشفرة الوراثية Gentic Codeحيث يقوم بنقل المعلومات اللازمة لتخليق البروتين

حيث ينقل MRNAالمعلومات الوراثية اللازمة لبناء نوعين من البروتينات هما البروتين الوظيفى والبروتين التركيبى وفى السيتوبلازم يوجد العديد من الريبوسومات التى ترتبط بنسبة من MRNAوتكون تركيب يسمى Ploysome / Polyribosome ويقوم MRNAوالريبوسوم المتصل به بتخليق البروتين.

لو كان هذه البروتين مخططا له أن يكون داخل فى تركيب الليزوسومات أو جدار الخلية أو هرمونات أو إنزيمات هاضمة فى هذه الحالة تتصل ال Protein Complex-Ribosome MRNA بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة RERوينتقل البروتين بعد ذلك إلى خارج الخلية

إما إذا كان هذا البروتين للإستخدام داخل الخلايا مثل البروتينات الخاصة Cytoskeleton or cytoplasmic enzymes فيبقى الـ Polysome حرا فى هذه الحالة فى السيتوبلازم .

الميتوكوندريا Mitochondria

الميتوكوندريا عضيات خلوية حيه توجد فى جميع أنواع الكائنات على هيئة حبيبات دقيقة أو عصى قصيرة أو خيوط ويتـرواح طولهـا ما بين نصف الى 1 ميكـرون ويصل طول الأنواع الخيطية منها إلى 10-12 ميكرون وقد توجد فى الخلية نوع أو أكثر من هذه الأشكال .

وعدد الميتوكوندريا ثابت بالنسبة للنوع الواحد من الخلايا فمثلا يوجد 500000 ميتوكوندريون فى الأميبا وتكثر الميتوكندريا بصفة عامة فى الخلايا الأكثر تخصصا مثل خلايا الكبد وخلايا الكلية وتوجد الميتوكندريا فى معظم الحالات موزعة توزيعاً منتظماً متجانساً فى السيتوبلازمة .

تظهر الميتوكندريا فى صور الميكروسكوب الإلكترونى على هيئة أكياس يحيط بكل منها غشاءان رقيقان الخارجى منها مستوى أما الداخلى فمتعرج .

وتتكون الميتوكندريا أساسا من الدهون والبروتينات بالإضافة إلى بعض المواد العضوية الأخرى والأملاح والفيتامينات كما تعتبر الميتوكندريا المستودع الرئيسى للأنزيمات التنفسية فى الخلية وتسمى الميتوكندريا أحياناً بالبطاريات الإنزيمية " ويطلق على الميتوكندريا أيضا أسم " مولدات الطاقة " فى الخلايا وذلك لأن الكثير من التفاعلات الكيميائية التى تتضمن أكسدة المواد الغذائية واستخلاص الطاقة منها تتم داخل الميتوكندريا بتأثير الإنزيمات الموجودة بها .

التقنيات البيوفيزيائية:

هناك العديد من التقنيات التى تستخدمها البيوفيزياء لاجراء الابحاث وتطبيقها فى المجالات المختلفة نذكر منها هنا:

الطرد المركزى:

وهو يستخدم فى فصل المركبات الذائبة والعالقة فى السوائل عن طريق الدوران بسرعات كبيرة حول محور الجهاز.

وهذه الطريقة تعتمد على تطبيق قوة على العينة تشبه قوة الجاذبية ولكن اكبر منها بكثير جدا (قد تصل فى بعض الأجهزة مليون مرة قدر الجاذبية الارضية) فى شكل دورانى لاستغلال ظاهرة الترسيب التى تحدث فى الموائع تحت تأثير الجاذبية.



يعتمد معدل الترسيب على:

القوة المؤثرة – كثافة الوسط - حجم وتركيز المادة المذابة أو العالقة.

حينما نطبق القوة الناتجة عن الطرد المركزى بقيم مختلفة فيمكننا فصل مكونات كل منها يترسب عند سرعات (مقدار قوى) مختلفة.

يمكن استخدام الطرد المركزى فى فصل عينات الحمض النووى

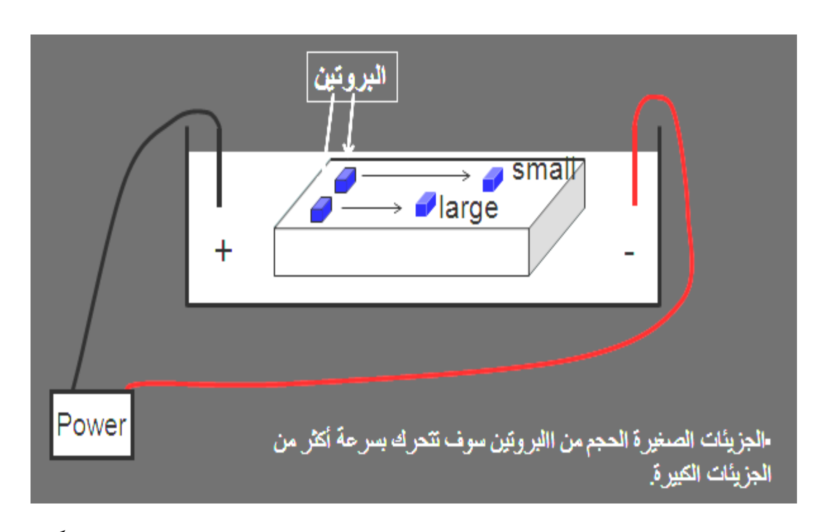
بمعرفة معدل الترسيب يمكن استخدام المعادلات الفيزيائية فى حساب الحجم والشكل التقريبى للجزيئات المفصولة وحتى عدد الوحدات المكونة لكل جزيئ .

الفصل الكهربائي بواسطة جل اكريلاميدElectrophoresis

من أهم طرق التحليل الشائعه - يعتمد على فصل جزيئات البروتينات والأحماض النووية تبعاً للحجم (أو طول شريط الحمض).

فيها يستخدم مصدر تيار كهربي ذو قطبين سالب وموجب للتأثير على جزيئات المركبات بعد وضعها فى وسط من الجل المرطب بمحلول فتتحرك داخل مسام الجل تبعا لشحنتها بينما تتفاوت المسافة التى تقطعها حسب حجم الجزئ فالأصغر يتحرك أسرع والأكبر يتحرك أبطأ بسبب مقاومة الوسط الذى يتحرك فيه (هنا هو الجل)

وبالتالى تنفصل الجزيئات عن بعضها على الجل وتظهر بعد عملية تثبيت تشبه تحميض الأفلام باستخدام تقنيةخاصة لصبغ البروتين فتظهرعلى شكل أشرطهbands

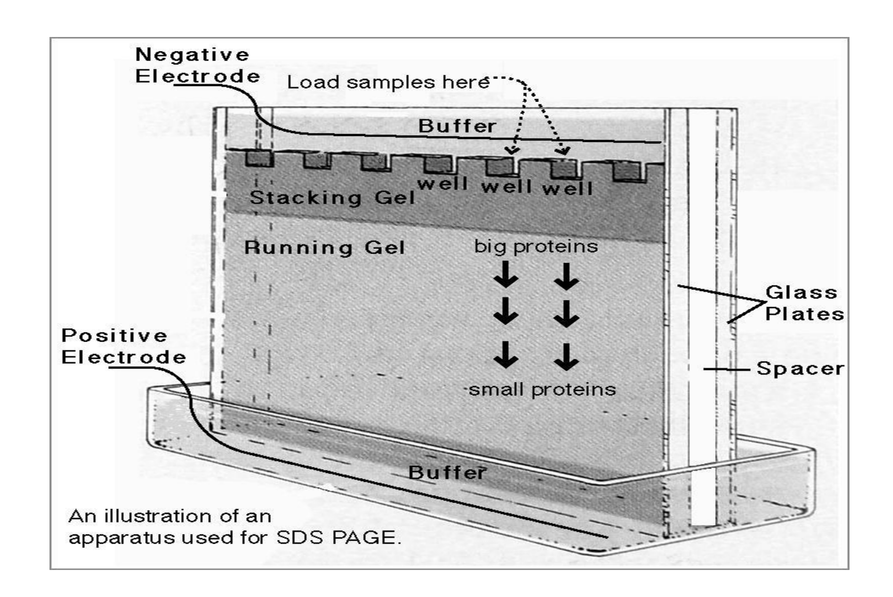


ثم تفصل بعدها بواسطة الغربلة الجزيئية molecular sieving تبعاً للحجم (الوزن الجزيئي).

ويمكن معرفة حجم البروتين بمقارنة المسافة التي يقطعها الجزيء على جل الفصل مع أشرطة من الجزيئات البروتينية معلومة الوزن الجزيئي.

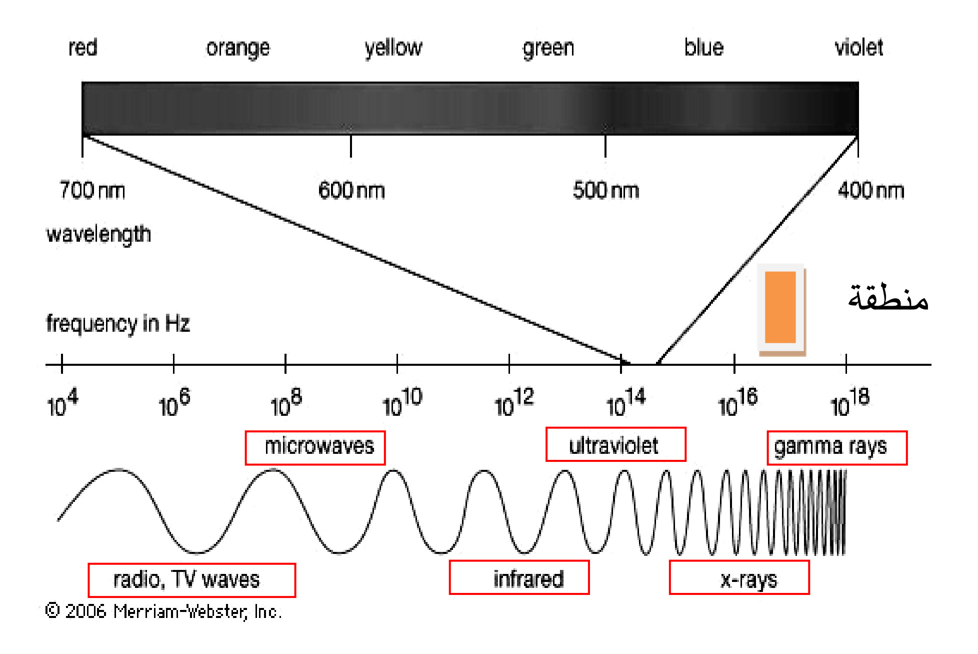
البروتين يحمل شحنة موجبه لوجود مجموعه أمين NH3 ,عندما نضع البروتين في مجال كهربائي. فإنه سوف يهاجر أو(يرحل) للقطب السالب

ولكن يمكن أن نستخدم مادة سالبة الشحنة(sodium dodecyl sulfate (SDS) لترتبط بمجموعة الامين فتتغطى جزيئات البروتين بشحنة سالبة مما يتسبب فى فك تكور الجزئ حول نفسه ثم تهاجر تجاه القطب (الموجب) بشكل أسهل داخل الجل وهى مفرودة وهذه الطريقة متميزة أكثر وهى الأكثر شيوعا فى التطبيق العملى.



الأطياف:

علم يهتم بدراسة التداخلinteraction بين المادة matter والشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiationوالذي يمتد من أشعة جاما عالية الطاقة highly energeticإلى موجات الراديوالمنخفضة الطاقة جدا very low energetic مرورا بالأشعة السينية وأشعة المايكروويف والأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء.



أما القياسات المطيافية Spectrometry فإنها تعني: قياس هذه التداخلات بين المادة والشعاع وصفياعن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لهذه الموادأوكمياعن طريق قياس تراكيزهذه المواد.

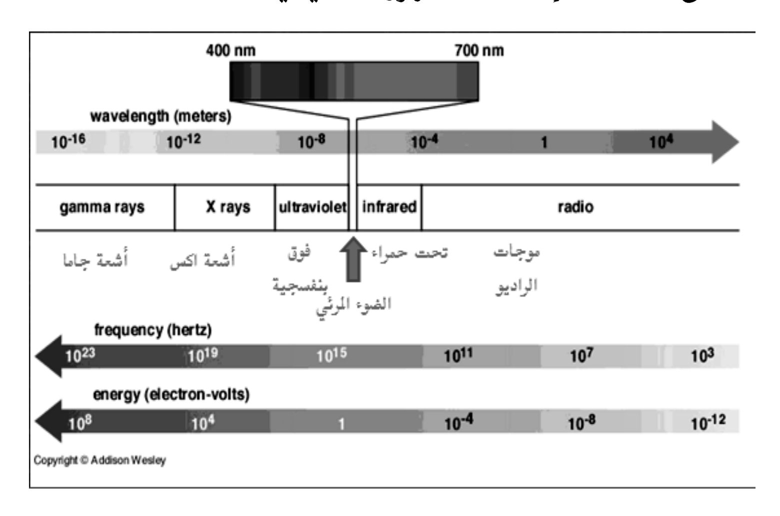
وأما الأجهزة التي تقوم بهذه القياسات تدعى بالمطيافيات أو أجهزة مقياس الطيف Spectrometers أو راسم طيفي . Spectrograph ويشار إلى مخطط التداخل بين المادة والشعاع بمخطط طيفي spectrogram أو طيف spectrum

تسخدم المطيافيات للتمييز والتعرف على المواد عن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لها وقياس كمياتها من خلال الطيف المنبعث من هذه المواد بعد إثارتها ، أو من خلال الطيف الممتص بواسطة هذه المواد نتيجة إثارتها أيضا.

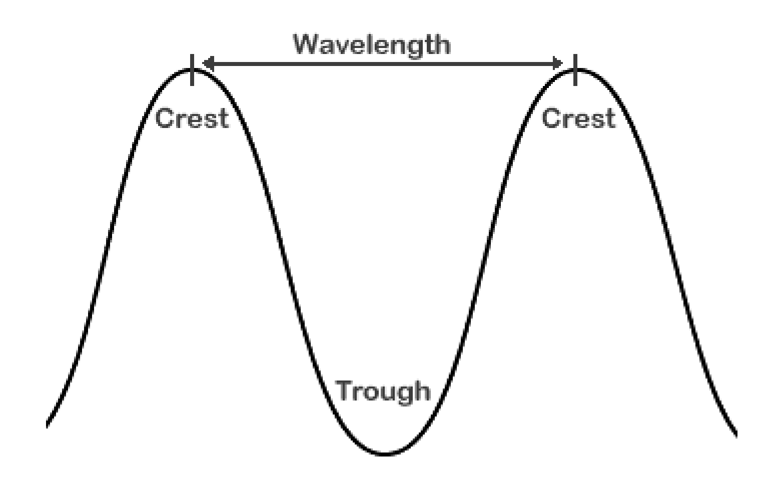
الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum

الطيف الكهرومغناطيسي ، أو الأشعة الكهرومغناطيسية ، أو الأمواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل نفس المعنى الفيزيائي. وإذا تكلمنا عن الضوء المرئي، أو المايكروويف، أو الأشعة السينية، أو أشعة جاما، أو موجات التلفزيون والراديو فهي كلها عبارة عن أشعة تعرف باسم الأشعة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation وكلها لها نفس الخصائص. ولكنها تختلف في الطول الموجي Wavelength ،و التردد Frequency ،والطاقة . Energy

المناطق المختلفة للإشعاعات الكهرومغناطيسية:



ويتقدم الشعاع الكهرومغناطيسي في صورة حركة موجية wave motion أي حركة تدفع الشعاع نحو الأعلى upward direction ثم تدفعه نحو الأسفل downward direction مثل الموجة التي لها قمة crest وقاع trough



التداخل بين الشعاع الكهرومغناطيسي والمادة:

عند تسليط طيف أو شعاع كهرومغناطيسي على المادة ، فان هذا الشعاع يحدث تغيرات عديدة بالمادة تتوقف على كل من طاقة هذا الشعاع الضوئي ، وطبيعة المادة نفسها.

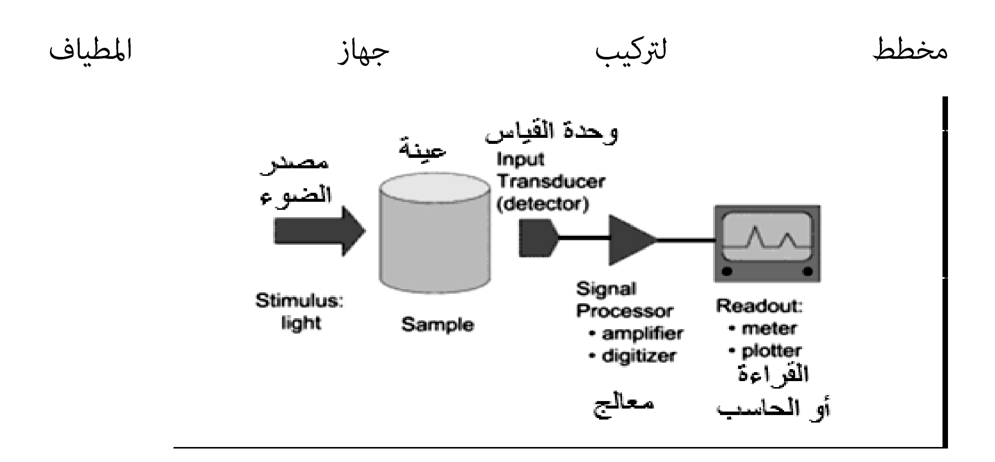
وتعتمد كل أجهزة التحليل الطيفي spectroscopic instruments على التداخل بين المادة والشعاع الكهرومغناطيسي ، وعلى هذا الأساس تم تصميم العديد من الأجهزة التي يمكن استخدامها في الكشف عن تلك المواد على أساس التغيرات التي تحدث بها نتيجة تداخلها مع الشعاع الكهرومغناطيس عند أطوال موجية معينة ، ثم يتم رصد هذه التغيرات التي تحدث بالمادة

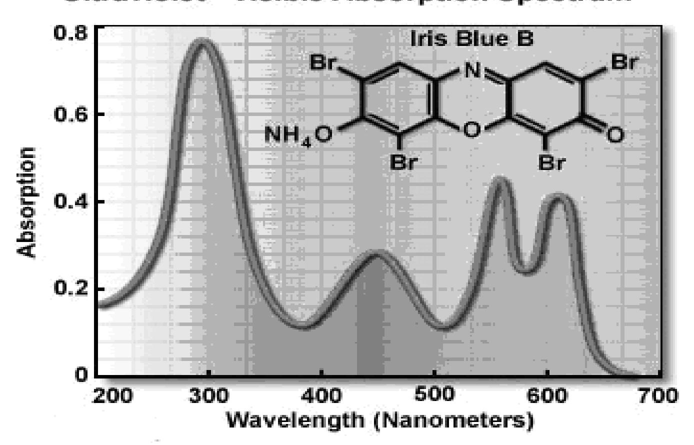
عند مرور الأشعة الكهرومغناطيسية على المادة ، فإن جزيئات المادة تمتص الشعاع الساقط عليها عندما تضاهي طاقة فوتونات هذا الشعاع كمية الطاقة المطلوبة لحدوث انتقالات بين مستويات الطاقة داخل الجزيء المختلفة ويحدث اما انتقالات أليكترونية Electronic transition ،أو تغيرات تذبذبية Vibrational changes ،أو تغيرات دورانية Rotational changes ،أو اثنين منها معا، أو جميعها معا. وتعود الجزيئات والذرات المثارة الى حالة الاستقرار بسرعة جدا ، اما عن طريق فقد الطاقة في صورة حرارة ، أو عن طريق انبعاث اشعاع كهرومغناطيسي منها.

ينتج عن امتصاص الجزيئات للأشعة الكهرومغناطيسية في منطقتي الضوء المرئى والفوق بنفسجى انتقال واحد أو أكثر من الأليكترونات الموجودة في مدارات ذات طاقة منخفضة (مدارات الرابطة) الى مدارات ذات طاقة أعلى.

كثافة الامتصاص تتناسب طرديا مع عدد الجزيئات في مسار الأشعة، لذلك يستخدم هذا التحليل في مجالات عديدة من التحليل الكمي .

مخطط لتركيب جهاز المطياف





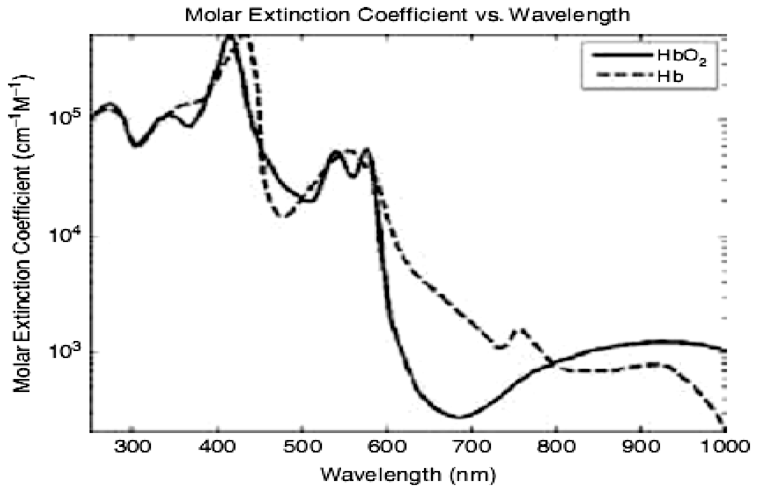


FIGURE 3-1 • Absorption spectra of hemoglobin with oxygen bound to the hemoglobin (solid line) and without oxygen bound to the hemoglobin (dashed line). (*Courtesy of Wikimedia Commons.*)

أشكال الأطياف الناتجة بعد رسمها من البيانات

الرنين النووي المغناطيس(Nuclear Magnetic Resonance (NMR

تعتمد على الخواص المغناطيسية الميكانيكية الكمية لنواة الذرة. ويستخدم الرنين النووي المغناطيسي للدلالة على مجموعة منهجيات وتقنيات علمية. وتستخدم هذه الظاهرة لدراسة الجزيئات من حيث البنية والتشكيل الفراغي.

جميع الأنوية الذرية التي تملك عددا فرديا من البروتوناتأو النيوترونات يكون لها عزم مغناطيسي أصلي intrinsic وعزم زاوي angular momentum ،وأكثر الأنوية التي تستخدم في هذه التقنيات هي نواة ذرة الهيدروجين H1 وهي أكثر نظائر الهدروجين توافرا في الطبيعة ، وكذلك نواة ذرة الكربون-13. وهناك نظائر عناصر أخرى يمكن أن تستخدم لكن استخداماتها تبقى أقل.

وينتج عن الدوران المغزليspining motion لأنوية هذه العناصر حول محورها عزم مغناطيسي (magnetic moment (M،وعند وضع هذه الأنوية بين قطبي مجال مغناطيسى خارجى ، فإنه يحدث تأثير على مستويات الطاقة الخاصة بالحركة المغزلية spin energy level لهذه الأنوية ، مما يؤدي الى إنفصال splitting طاقة الحركة المغزلية إلى مستويين طاقيين مختلفين على أساس اتجاه العزم المغناطيسي الناشئ عن الحركة المغزلية وهما:-

مستوى طاقي منخفض Low energy level وهنا يكون العزم المغناطيسى فى إتجاه المجال المغناطيسى الخارجي.

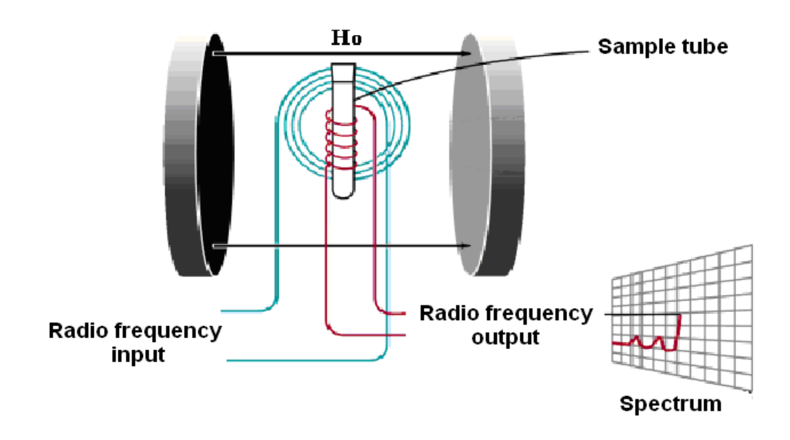
مستوى طاقي مرتفع High energy level وهنا يكون العزم المغناطيسى فى إتجاه مضاد للمجال المغناطيسى الخارجى.

ويمكن زيادة الفرق فى الطاقة بين هذين المستويين بزيادة شدة المجال المغناطيسى الخارجى.

عند تسليط أشعة الراديو Radiowave ،علي هذه الأنوية فإنها تمتص طاقة أشعة الراديو وتنتقل إلى مستوى الطاقة الأعلى ، وينتج عن ذلك تغير فى إتجاه الحركة المغزلية للنواة ، ثم ترجع الأنوية من المستوى العالي في الطاقة الى المستوى المنخفض مرة أخرى وهكذا ، ويطلق على هذه الظاهرة ظاهرة الرنين النووي المغناطيسي.

وإمتصاص الطاقة يمكن الكشف عنه وتكبيره كطيف خطى ويطلق عليه إشارة الرنين المغناطيسي resonance signal.

مطياف الرنين النووي المغناطيسي



رسم تخطيطي لمطياف الرنين النووي المغناطيسي

التعرف على التركيب الجزيئي

أهم المعلومات التى نحصل عليها من طيف الرنين المغناطيسيNMR spectrumما يلى:-

1- الأنتقال الكيميائى للإمتصاصات (δ) chemical shift

الانتقال الكيميائي يحدد نوع البروتونات فى الجزىء حيث أن عدد الإمتصاصات يدل على أنواع البروتونات (الهيدروجين) الموجودة فى الجزىء.

فنجد مثلاً أن مركب C6H5-CH2-CH3يعطى ثلاثة إمتصاصات عند ثلاثة قيم مما يوضح أن هناك ثلاثة أنواع من البروتونات تختلف عن بعضها من ناحية الظروف الأليكترونية ، بينما نجد مركب CH3-OH يعطى إمتصاصين فقط عند قيمتين مختلفتين من الانتقال الكيميائى ليدل بذلك على وجود نوعين من البروتونات.

والطريقة النموذجية للتعرف على التركيب الجزيئى للمركب هى البدء بالرمز الجزيئى molecular formulaوذلك لتحديد درجة عدم التشبع unsaturation أو عدد الحلقات العطرية ويفيد فحص الانتقال الكيميائى chemical shiftفى التفرقة بين عدم التشبع والحلقات العطرية ، فإذا كانت هناك إمتصاصات فى المنطقة ما بين d 8.5 : 7 فهذا يدل على وجود حلقة عطرية أما إذا ظهر إمتصاص فى المنطقة 4.5 : 6 δفيمكن إفتراض وجود رابطة زوجية.

2-عدد الانقسامات الداخلية فى كل إمتصاص رئيسى Spin Spin Coupling

إن فحص عدد الانقسامات فى كل إمتصاص رئيسى يفيد فى تحديد الوضع النسبى لهذه البروتونات ، فالانقسام الثلاثى يشير إلى وجود مجموعة CH2 مجاورة أو مجموعة CH على كل جانب .

أما الانقسام الرباعى يشير إلى وجود مجموعة CH_3 مجاورة أو مجموعتين إحداهما CH_2 على جانب ، CH على الجانب الأخر ، أما الأنقسام الثنائى يشير إلى وجود مجموعة CH مجاورة وهكذا.

وإذا كان الجزىء يحتوى على ذرة أكسجين أو نتروجين فإنه يجب أن نبحث عن إمتصاص فردى عريض للبروتون لمجموعة OHأو NH وفى حالة عدم وجود هذا الإمتصاص فإن هناك إحتمالا لأن تكون المادة مركب كربونيلى C=Oأو R-O-R

3- كثافة الإمتصاصات integration

يوضح نسبة ذرات الهيدروجين إلى بعضها فى الجزىء وكذلك عدد البروتونات فى كل مجموعة امتصاص حيث أن كثافة كل امتصاص يتناسب طردياً مع عدد ذرات الهيدروجين.

الفصل الثامن عشر

تحضير معقد بلوري سائل من ليكاندات قواعد شف و دراسة بعض الخصائص الحرارية له

تعرف الأطوار البلورية السائلة بأنها أطوار مميزة للمواد ينحصر تكوينها بالمدى الواقع بين الحالة الصلبة (Solid State) التي تكون فيها الجزيئات مقيدة وذات نظام هندسي ثلاثي الأبعاد وبين الحالة السائلة (Liquid State) التي تمتلك فيها الجزيئات عشوائية الحركة ، ويتمثل فيها بوضوح نقص في الانتظام الجزيئي (Molecular Order) ، وعلى الرغم من إن البلورات السائلة تمتلك خواص تعود إلى كلتا الحالتين الصلبة والسائلة إلا إنها تمتلك مميزات خاصة بها غير موجودة في كلتيهما مصحوبة بزيادة في الانتروبي [S'erway and Beichner,2002].

درس الباحث (Guenter Ahlers وجماعته 1994) التوصيلية الحرارية للبلورة السائلة النيماتية (4-n-pentyl-4-cyanobiphenyl) وبينوا بان قيم التوصيلية الحرارية للبلورة السائلة المستعملة تزداد زيادة طفيفة مع زيادة درجات الحرارة وهذا يقود إلى أن قيم الحرارة النوعية تزداد ايضاً ، فيما تقل قيم الانتشار الحراري مع درجات الحرارة وتطابق نصوص العلاقات الرياضية [Ahlers and et.al., 1994].

درس الباحثان (Kiyohi Torizuka and Hiroyuki Tajima 2005) تقنية قياسات التوصيلية الحرارية للمواد العضوية لمدى درجات حرارية عالية ، حيث تمكنا من تطوير تقنية التوصيلية الحرارية لنماذج عضوية ولمديات حرارية واسعة امتدت من (4 K) إلى درجة حرارة الغرفة (393 K) ، وكذلك نجحا في قياس الانتشار الحراري في الجزيئات البلورية العضوية ووجدا بأنها تساوي (1W/K) وذلك باستخدام طرائق متغايرة [Torizuka and Tajima , 2005] .

إن الهدف من الدراسة هو قياس التوصيلية الحرارية ، الحرارة النوعية والانتشار الحراري لمركب ميزوجيني بلوري سائل نيماتي الطور ، عضوي مشتق من البنزدين ، وذلك للأهمية الكبيرة والمتزايدة لهذه المواد في المجالات التطبيقية والصناعية وخاصةً في أجهزة العرض والتطبيقات الطبية .

الجزء النظري :

بعد إن يتم ربط الدائرة الكهربائية ، تحسب كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة (Q) باستخدامالعلاقة [Bueche. J and Hecht. E , 1997]:

$$Q = I\ V \qquad (1)$$

حيث (I) تمثل التيار المار عبر السخان بوحدات الامبير بواسطة الاميتر المربوط على التوالي مع السخان، (V) الفولتية عبر السخان بوحدات الفولت.

يحسب التوصيل الحراري (λ) باستخدام العلاقة التالية:

$$\lambda = Q\,L / A \triangle T \quad (2)$$

حيث أن L يمثل سمك العينة، A مساحة المقطع العرضي للعينة، $\triangle T$ الفرق في درجات الحرارة على طرفي العينة. وبلغت قيمة Q = 0.41571 Watt حيث كانت قيمة التيار I = 0.298 Amp اما الفولتية فتعادل V = 1.395 Volt.

باستخدام العلاقة رقم (2) يمكن حساب التوصيل الحراري λ للعينات في مدى درجات الحرارة (293-333 K) حيث تقاس λ بوحدات (W/cm.K).

لغرض حساب الحرارة النوعية للمادة البلورية السائلة المحضرة ، يتم تثبيت درجة حرارة الفرن على الدرجة الحرارية (293K) ويمرر تيار عبر السخان بقيمة معينة بواسطة الاميتر المربوط على التوالي مع السخان، وكذلك الفولتية عبر السخان. تحسب كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة (Q) من العلاقة رقم (1). تبقى درجة حرارة الفرن ثابتة عند (293 K) بينما يتم تغيير درجة الحرارة المتدفقة عبر العينة بتغيير قيم كل من التيار والفولتية وتعاد العملية مرات عدة ولقراءات مختلفة للتيار والفولتية. تم حساب الحرارة النوعية (C) من العلاقة التالية

[Bueche. J and Hecht. E , 1997]

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T}=mC \quad (3)$$

حيث $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ تمثل الميل من رسم العلاقة بين $\Delta T, \Delta Q$.

m تمثل كتلة العينة ومقدارها (2 g).

يُعاد العمل السابق نفسه بالنسبة للدرجة الحرارية (298 K) حيث تُثبت هذه الدرجة الحرارية على الفرن الحراري ويتم تغيير كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة وبنفس القيم السابقة التي تم تسجيلها للتيار والفولتية عند الدرجة (293 K). هكذا بالنسبة للدرجات الحرارية الأخرى وصولاً إلى الدرجة الحرارية (328 K).

بعد الحصول على قيم معامل التوصيل الحراري (λ) والحرارة النوعية (C) يتم الحصول على قيم الأنتشار الحراري (α) بوحدات (cm2/Sec) من العلاقة [Abood ,1992 , Walker ,2002]:

$$\alpha=\frac{\lambda}{\rho C} \quad (4)$$

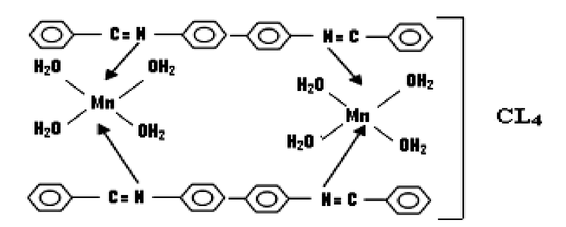
حيث ρ هي الكثافة الكتلية للعينة، وتساوي نسبة كتلة العينة m إلى حجمها V، حيث يحسب الحجم V من العلاقة التالية:

$$V = \pi R2\ L(5)$$

علماً إن L هو سمك العينة ويساوي (0.13 cm)، أما R فهو نصف قطر العينة ويساوي (0.8 cm). عليه فأن حجم هذه العينة يساوي (0.2612 cm3). فإذا كانت كتلة هذه العينة هي (m = 2 g)، فأن الكثافة الكتلية تصبح (ρ =7.66 g/cm3).

الجزء العملي :

تم أخذ(2gm)من مسحوق الليكاند(K1)وأذابته في (20ml) مـن محلول الايثانول المطلق بالإضافة إلى الأسيتون،وخلط المزيج مع (4.3ml) من ثنائي كلوريد المنغنيز المائي ($MnCl_2.4H_2O$) المذاب (20ml) من محلول الايثانول المطلق أيضا . وقد صب المزيج في دورق سعة (100 ml) ، بعدها ترك ليجف بدون ترشيح لمدة ثلاثة أيام ، وبهذا حصلنا على المعقد البلوري السائل bis (benzidine bis benzylidine) Chloride.di ManganeseΠ ، ذو اللون الأصفر المخضر الشاحب ذو الصيغة الكيميائية :



طريقة العمل :

العينة المستخدمة كانت بسمك (0.13 cm) وبقطر (1.6 cm)والتي تم الحصول عليها مختبريا وكبسها بمواصفات تلائم طبيعة الدراسة من حيث الشكل والكتلة والوزن ألجزيئي ، وقد أجريت التجربة على المادة البلورية السائلة ولأول مرة في مختبر المواد المتقدم في قسم الفيزياء- كلية العلوم- جامعة بابل .

تـم دراسة سلوك التوصيل الحراري للعينات بتغير درجة الحرارة وضمن مدى درجات الحرارة ما بين (293-328 K) .

تم تصنيع جهاز قياس التوصيلية الحرارية محلياً من قبل [Abood ,1992] ، وتمت كافة الاختبارات السابقة على بوليمرات ذات اوزان جزيئية عالية ومادة بلورية سائلة شبيهة ، والذي يتكون من جزئين رئيسين :

1- السخان :

وهو عبارة عن قرص دائري مصنوع من مادة النحاس لتميزه بانتظام وسرعة توزيع الحرارة فيه . يبلغ سمك السخان(0.8 cm) وقطره (1.6 cm) أي بنفس قطر العينات المحضرة من مواد بلورية سائلة والمراد اجراء الدراسة عليها لامكانية توزيع الحرارة على مساحة العينة بالتساوي . حُفرت في القرص اربعة اخاديد وعلى وجه واحد فقط. يمرر عبر هذه الاخاديد سلك من الكونستنتان ذو مقاومة عالية، وقد تم عزل السلك كهربائياً عند الاستعمال وذلك بطلائه بطبقة من الورنيش. يُغطى الوجه المحفور من القرص بصفيحة رقيقة من النحاس سمكها (0.08 cm) بعد تثبيت السلك فيه ، كما مبين في الشكل (1).



الشكل رقم (1) رسم تخطيطي لشكل السخان .

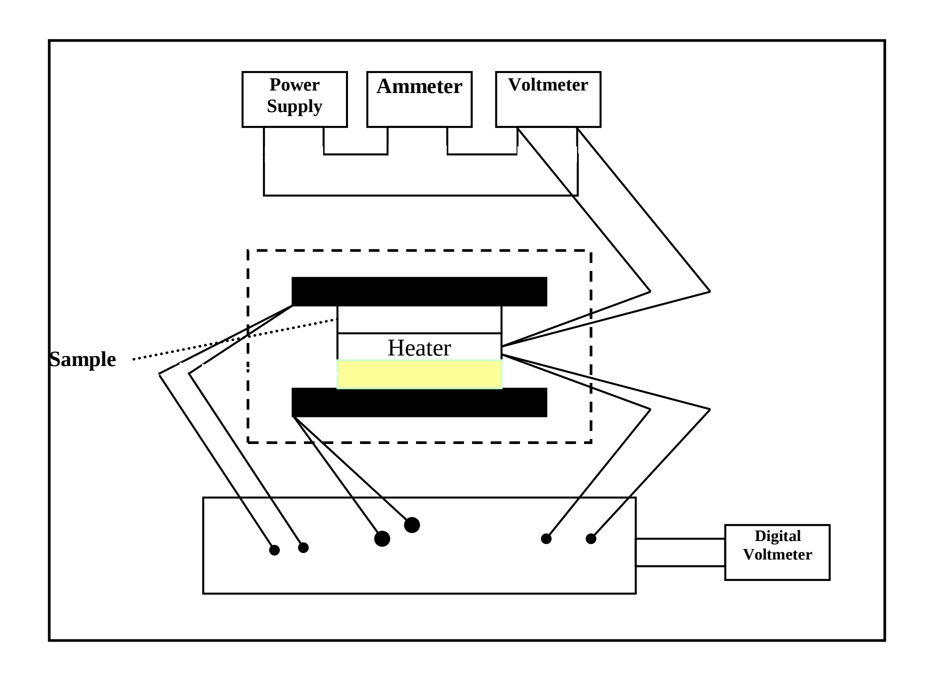
2- صفيحتا الضغط :

وهما عبارة عن قرصين من النحاس، سمك الواحدة منها (0.5 cm) وقطرها (10 cm) تحتوي كل منهما على أربعة ثقوب يمرر من خلالها لوالب عديمة الرأس (Studs) لغرض ربط الصفيحتين مع بعضهما. تستخدم الصفيحتين لتثبيت العينة المراد استخدامها وقياس التوصيل الحراري لها.

يتم تثبيت مزدوجات حرارية على كل من السخان وصفيحتي الضغط بطريقة اللحام ، والمزدوجات الحرارية عبارة عن أسلاك نحاس وكونستنتان ذو قياس 38) SWG).

تم وضع العينة البلورية السائلة المحضرة وتثبيتها على احد أوجه السخان بوساطة صفيحتي الضغط وبعد ذلك يوضع الجهاز داخل فرن حراري يتم بوساطته السيطرة على درجة الحرارة . تم تهيئة الملتقيات الباردة للمزدوجات الحرارية وإكمال ربط الدائرة الكهربائية بوجود فولتميتر رقمي، كما في الشكل رقم (2) الذي نلاحظ فيه وجود مجهز قدرة ذي تيار مستمر بوساطته يتم تجهيز السخان بالحرارة، ثم تثبت درجة حرارة العينة عند الدرجة الحرارية (293 K)

بوساطة الفرن الحراري المبرمج وبمساعدة محرار حراري لحين الوصول إلى حالة الاستقرار للجهاز، أي عند ثبات قراءة الفولتميتر الرقمي الذي يسجل قراءة المزدوج الحراري الذي يتحسس بدرجة حرارة العينة ، ثم تسجيل قراءة المزدوجات الحرارية التي تتحسس بدرجة حرارة الصفيحتين العليا والسفلى.

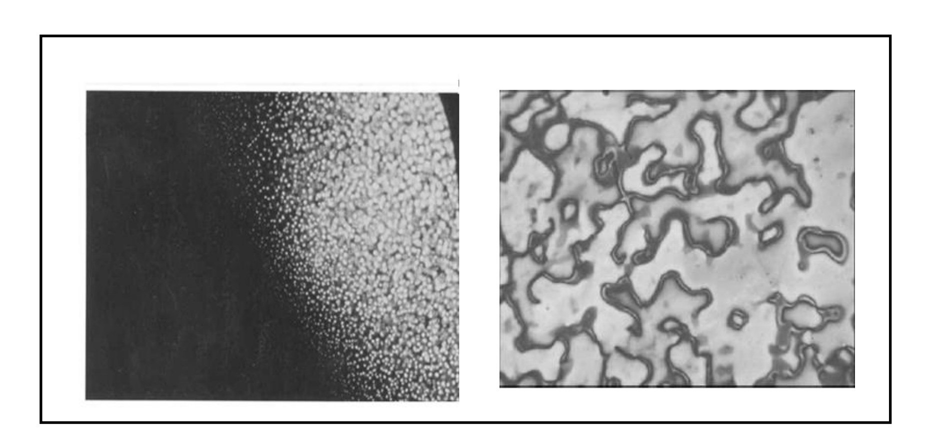


الشكل رقم (2) الدائرة الكهربائية المستعملة في القياس .

النتائج والمناقشة :

تم تعيين نوع الطور البلوري السائل للمركب الميزوجيني المحضر من ليكاندات قواعد شيف من خلال المعاينة المجهرية للتركيب النسيجي الشبيكي له بوساطة المجهر ذي الضوء المستقطب المجهز بمسخن حراري وآلة تصوير أوتوماتيكية ، حيث لوحظ إن هناك توافقا بين الدرجات الحرارية لانتقالات الأطوار الوسطية و الايزوتروبية ، وعند تشخيص الأشكال المجهرية أظهرت بالتسخين الطور النيماتي الاعتيادي للمركب الميزوجيني المحضر ، وكذلك عند تبريد السائل الايزوتروبي ظهر الشكل النسيجي النيماتي الاعتيادي أيضا .

وهذا يتوافق مع القيم القياسية المقيسـة لمركبات شبيهة [Al – Hamadani , 2010] . الصور الفوتوغرافية الآتية توضح التركيب النيماتي الاعتيادي للمركب المحضر في حالتي التسخين والتبريد .



(a)(b)

صورة (1) الطور النيماتي الاعتيادي a : عند التبريد ، b : عند التسخين .

تبين من خلال جهاز المجهر ذي الضوء المستقطب بان المركب المحضر نيماتوجين نقي يظهر الطور النيماتي الاينانشوتروبي (ثنائي الحالة الوسطية) فقط بالتسخين والتبريد.

الجدول رقم (1) يبين قيم التوصيل الحراري للمركب الميزوجيني المحضر كدالة لدرجة الحرارة في مدى درجات الحرارة (328-293) K . نلاحظ أن التوصيل الحراري $(\lambda =$ 8*10-3 W/cm.K) عند الدرجة الحرارية (293 K) ، وتزداد قيمه فتصبح $(\lambda =$ 94*10-3 W/cm.K) عند الدرجة الحرارية (318 K) وتستمر بالزيادة حتى تصبح قيمتها (λ = 97*10-3 W/cm.K) عند الدرجة الحـــرارية (328 K) لتزداد بعدها

وهذا واضح من ملاحظة الشكل رقم (3) الذي يبين العلاقة بين التوصيل الحراري وارتفاع درجات الحرارة للمركب البلوري السائل المحضر ، حيث ان قيم التوصيل الحراري للبلورات السائلة تزداد بارتفاع درجات الحرارة وهذا يتوافق مع القيم المقيسة للمركبات الشبيهة [Torizuka and Tajima , 2005]، كما نلاحظ أن قيم التوصيل الحراري للبلورات السائلة ذات قيم واطئة.

يتم حساب $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ من رسم العلاقة بين $\triangle Q$ و$\triangle T$ والمقابلة لكل درجة حرارية وكما هو واضح من الاشكال من (4) الى (11) حيث نلاحظ ان العلاقة بين $\triangle Q$ و$\triangle T$ هي علاقة خطية إذ يتزايد الفرق في درجات الحرارة بزيادة قيم كمية الحرارة المجهزة الى السخان.

الجدول رقم (2) يبين قيم الحرارة النوعية والانتشار الحراري كدالة لدرجات الحرارة إذ تتذبذب قيم الحرارة النوعية بشكل طفيف وعموماً تزداد قيم الحرارة النوعية بشكل خطي تقريباً مع ارتفاع درجات الحرارة إلى إن تصل إلى الدرجة الحرارية (313 K) بعدها تبدأ الحرارة النوعية بالتناقص بصورة مفاجئة، ثم تنخفض قيمها قليلاً

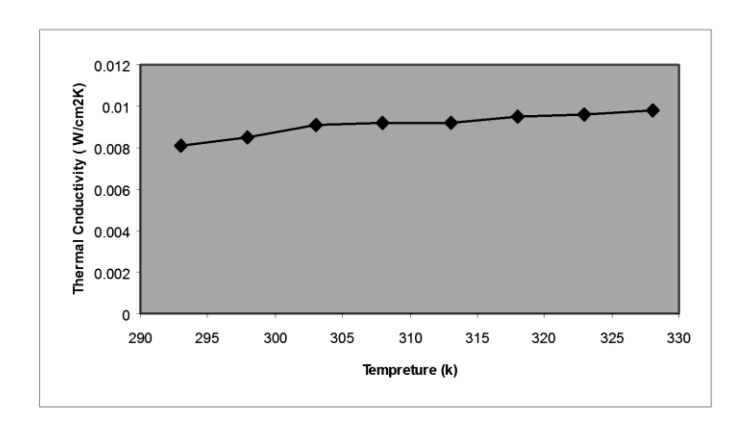
حيث إن التذبذب الحاصل في منحني الحرارة النوعية يعود إلى مدى تحسس المزدوجات الحرارية المستخدمة . والشـكل رقم (12) يوضح العلاقة بين الحرارة النوعية ودرجات الحرارة ضمن المدى 328 K -293.

أما الشكل رقم (13) فهو لتوضيح العلاقة بين الانتشار الحراري ودرجات الحرارة حيث نلاحظ اختلاف سلوك الانتشار الحراري مع درجات الحرارة ، فمن الشكل يظهر عند زيادة قيمة التوصيل الحراري (λ) سيرافقه زيادة طفيفة في قيمة الانتشار الحراري (α). عموماً فأن النتائج التي تم الحصول عليها تتفق مع التجارب التي اجريت على مواد بلورية سائلة شبيهة ، والذي يمكن ملاحظتها بشكل واضح في المصدر [Abdul-AzizO. and Karar A., 2010] .

جدول رقم (1) يتضمن قيم التوصيل الحراري (λ) المقابلة إلى درجات الحرارة (T).

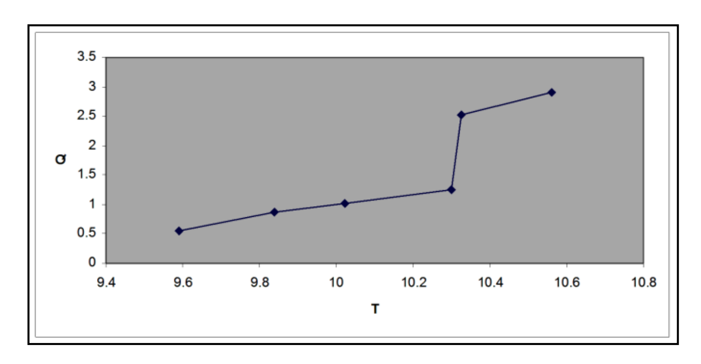
T(K)	VH(V)	VU(V)	VL(V)	TH(K)	TU(K)	TL(K)	TU,L (K)	T(ΔK)	λ(W/cm K)
293	0.014	0.36	0.33	272.6128	281.2871	280.5399	280.9135	8.300687	0.008072
298	0.016	0.283	0.38	272.6633	279.3674	281.7847	280.576	7.912766	0.008467
303	0.013	0.29	0.32	272.5875	279.5422	280.2906	279.9164	7.328861	0.009142

308	0.025	0.313	0.32	272.8905	280.116	280.2906	280.2033	7.31284	0.009162
313	0.029	0.31	0.33	272.9914	280.0412	280.5399	280.2905	7.299112	0.009179
318	0.024	0.3	0.312	272.8652	279.7918	280.0911	279.9414	7.076188	0.009468
323	0.027	0.302	0.311	272.941	279.8417	280.0662	279.9539	7.01295	0.009554
328	0.031	0.309	0.3	273.0419	280.0163	279.7918	279.904	6.862113	0.009764



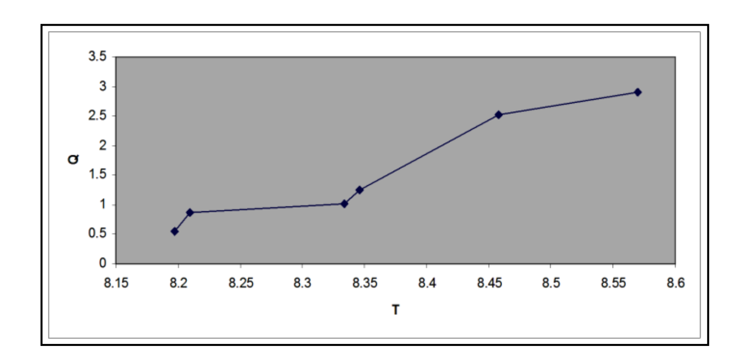
الشكل (3)

يوضح علاقة التوصيل الحراري مع درجات الحرارة للمدى الحراري (293-328 K) .

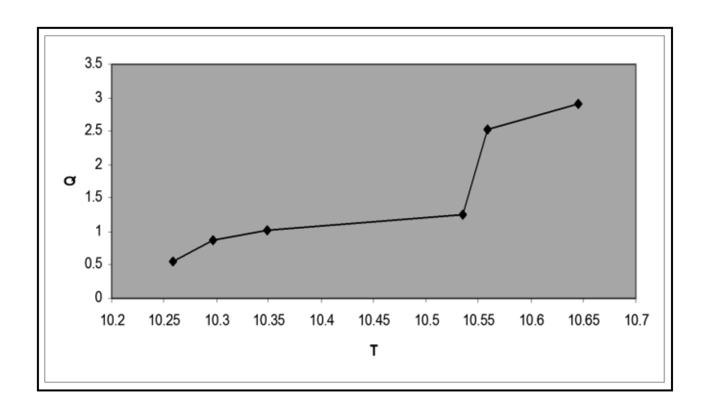


الشكل(4) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة

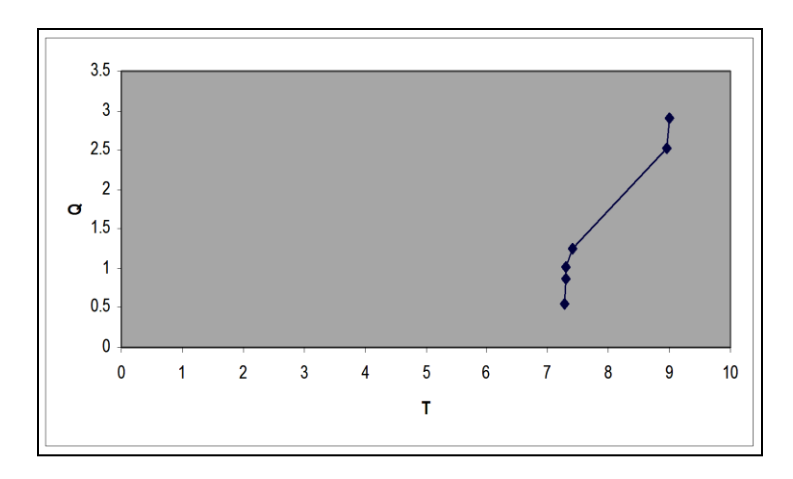
عندT = 293 K



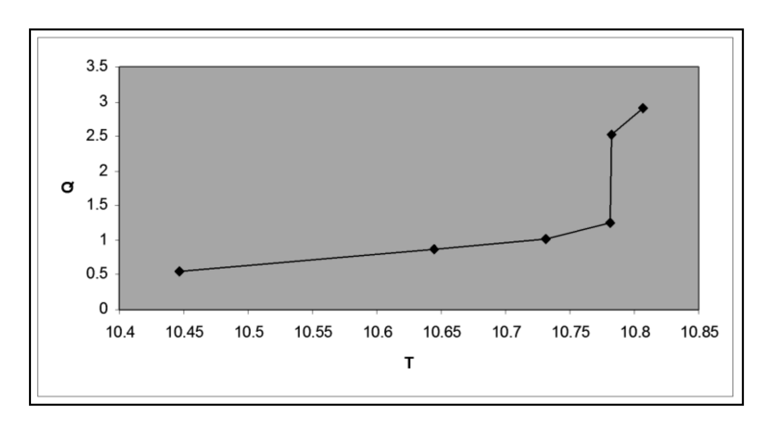
الشكل(5) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عندT = 298 K



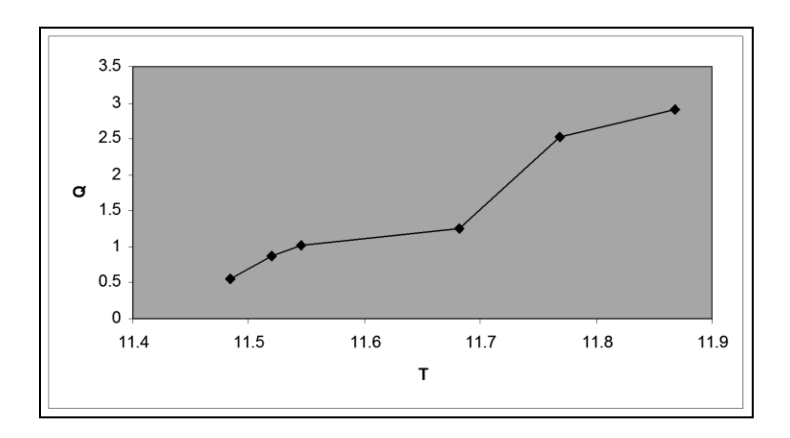
الشكل(6) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 303 K



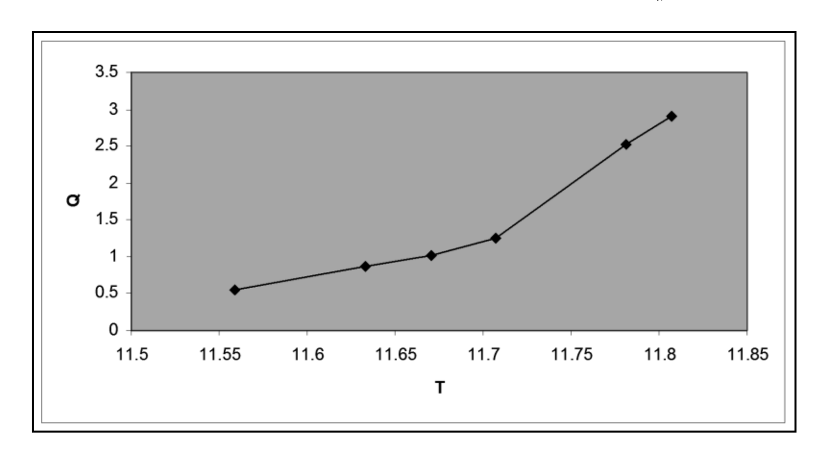
الشكل(7) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 308 K



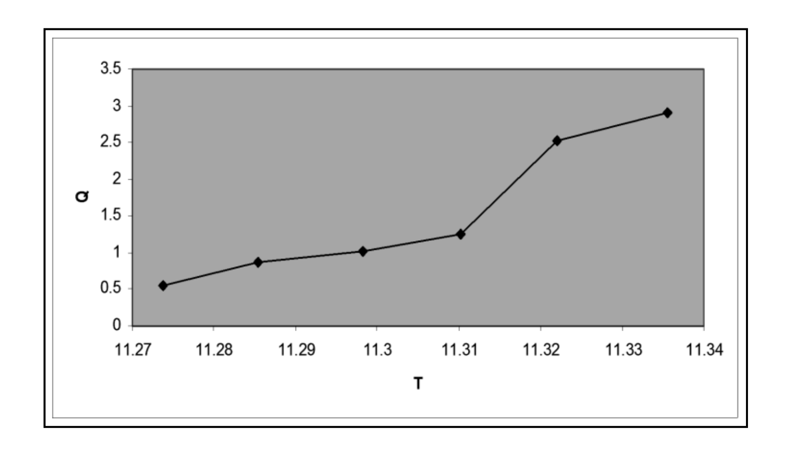
الشكل(8) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 313 K



الشكل(9) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عندT = 318 K



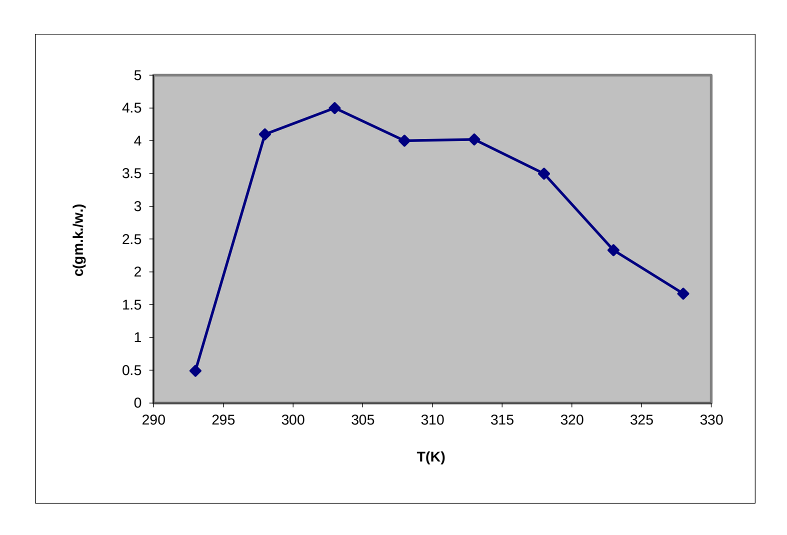
الشكل(10) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عند T = 323 K



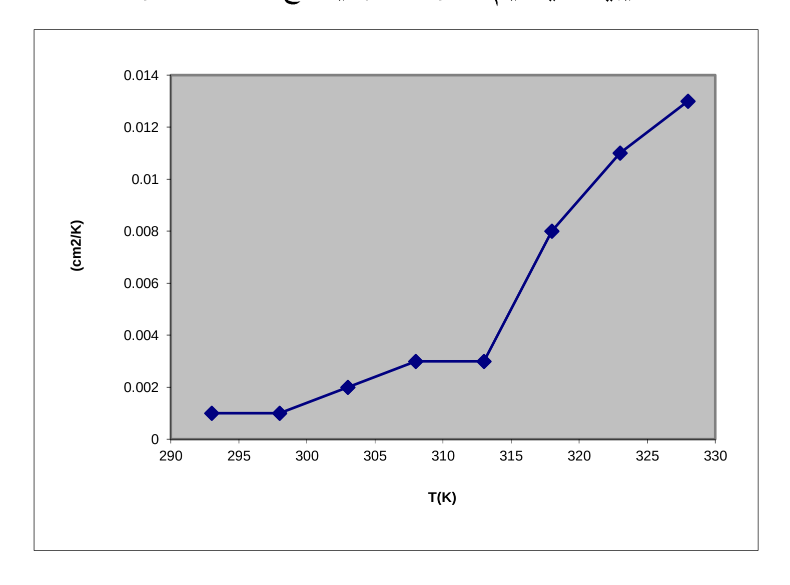
الشكل(11) يبين علاقة كمية الحرارة بدرجة الحرارة عندT = 328 K

جدول رقم (2) يبين قيم الحرارة النوعية والانتشار الحراري كدالة لدرجات الحرارة ضمن المدى (293 – 328 K) .

T(K)	C (gm.K.Watt-1)	α(cm2/Sec)
293	0.49	0.001
298	4.1	0.001
303	4.5	0.002
308	4	0.003
313	4.02	0.003
318	3.5	0.008
323	2.33	0.011
328	1.67	0.013



الشكل(12) يبين تغير قيم الحرارة النوعية مع درجات الحرارة .



الشكل(13) يبين تغير قيم الانتشار الحراري مع درجات الحرارة .

الفصل التاسع عشر

النسبية الجاليلية

المبحث الأول

نظرة شاملة على النسبية الجاليلية:

سنبدأ بنظرة شاملة على الفيزياء الكلاسيكية . يجب أن تكون لديك قدر من المعلومات عن الميكانيك الكلاسيكى لكى تلاحظ الفرق بينه و بين النسبية. لقد قمت أيضا بنقل بعض الأجزاء من أبحاث متميزة.

المبدأ الأول: الزمان و المكان المطلقين

فى الميكانيكا النيتونية ، الزمن مستقل تماما عن المكان و كلاهما يعتبر مسرح للأحداث ، تحدث كل الأحداث فيهما و المادة أيضا موجودة فيهما.

الزمن مستقل عن حالة الحركة لجسم ، يمكنك أن تضبط كل الساعات فى الكون و تجعلهم متوافقين ، و سيسيروا بنفس المعدل و يستمروا فى اعطائك قرائات متامثلة بغض النظر عن مكانهم أو حالة حركتهم. و نتيجة لذلك يتفق كل المشاهدين على ترتيب الأحداث التى تحدث فى أى مكان وعلى وقت حدوثها . الأحداث التى تحدث فى نفس الوقت (متزامنة) بالنسبة لمشاهد معين ستصبح متزامنة بالنسبة لكل المشاهدين الأخرين و هذا يسمى "التزامن المطلق."

المبدأ الثانى: النسبية الجاليلية

النسبية الجاليلية تعتبر جزئا من الفيزياء الكلاسيكية . الفيزياء الكلاسيكية نظام ممتاز للتنبؤ بحركة كل شيئ من التفاحات الساقطة إلى الكواكب الدوارة ، لذلك صمدت لمئات السنين. إنها أيضا منطقية جدا ، يمكنك القول ، أنك بمجرد أن تفكر فيها تجدها سليمة و منطقية و قريبة لعقلك. لذلك عندما تقرأ هذا الجزء ، تأكد أننا نتكلم عن العالم الذى تعيش فيه. بهذه الطريقة ستلاحظ الأشياء الجديدة فى الفيزياء الحديثة عندما تفقد هذا الإحساس بالمنطقية فى الكلام.

حاول أيضا أن تحل المسائل قبل أن تنظر للإجابات . لن تحتاج ورقة أو قلما ولكنك ستحتاج القليل من التفكير.

السؤال #1 : كنت أنا أقود سيارة بسرعة 30 ميلا فى الساعة . كنت أنت واقفا على جانب الطريق ترانى . بعد أن مررت بك ، رميت ورائى حجرة بسرعة 30 ميلا فى الساعة. متى ستلحق بى هذه الحجرة ؟

الإجابة #1 : أعط نفسك عشر نقاط إذا قلت أنها لن تصلنى أبدا. لا يهم إن كانت تسير بسرعة 30 ميلا طالما أنى أبتعد بسرعة 30 ميلا. كلام منطقى ، صح؟

الأن لنضع معى فى السيارة طفلا عمره عامين. بما أنه ما زال طفلا لا يفقه شيئا، سيقول أنه لا يتحرك . عندما ينظر من الشباك و يرى الأشجار تذهب للوراء سيعتقد أن الأشجار هى التى تتحرك . بالطبع لن يستنتج أن السيارة وهو بداخلها تتحرك عبر الأشجار.

إذن ماذا سيستنتج الطفل بخصوص الحجرة؟ (لنسأل السؤال فيزيائيا : كيف تتصرف الحجرة فى "مناط إسناد" الطفل؟.(الحجرة بالنسبة له معلقة فى الهواء خلف السيارة و هى لا تتحرك .لو أننا سألنا الطفل نفس السؤال(متى ستلحق الحجرة بالسيارة؟) سيجيب نفس الإجابة التى أجبناها أنا وأنت (لن تلحق بها أبدا) و لكن لسبب مختلف تماما. أنا و أنت لدينا حس مشترك يخبرنا أن السيارة هى التى تتحرك بينما الأشجار ثابتة . ولكنه من المفيد أن تلاحظ أن الطفل حصل على نفس الإجابة.

هنا بيت القصيد . الطفل على حق مثلنا تماما . لو أراد أن يقول أن السيارة لا تتحرك بينما الأشجار تفعل ، فهو على حق. لو أردت أن تقول أن الأشجار ثابتة و السيارة تتحرك، فأنت على حق أيضا. لأنه إذا سألت أى سؤال (مثل السؤال السابق) سيحصل كلاكما على نفس الجواب. علميا إذا استطاع أن يحصل على إجابات صحيحة دائما. فإنه لا يوجد أى أساس يمكننا من أن نقول أنه مخطئ حتى ولو تعارضت افتراضاته مع الحس العام.

لنتقدم خطوة أخرى ، يمكنك أن تختار أى شيئ الطريق ، السيارة أو أى شيئ أخر وتقول أنه ثابت و تفترض أن كل شيئ أخر يتحرك وستنجح فى التنبؤ بكل الظواهر. هذه النتائج تم تلخيصها فى هذه الجملة:

النسبية الجاليلية:(قوانين الميكانيكا ثابتة فى "أى مناط إسناد قصورى) . إذن إنها طريقة أخرى للقول أن الطفل على حق.

هذه الكلمة "قصورى" تعتبر جزرية هنا : إنها تعنى أنك يمكنك أن تعتبر نفسك مناط إسناد فقط إذا كنت لا تتسارع أو تتباطأ أو تغير اتجاهك (حركة منتظمة) . لو أن قائد السيارة استعمل الفرامل فجأة فإن الطفل سيعرف أنه ليس ثابتا لأنه سيندفع فجأة للأمام.

هل أنت معترض على أن الطفل على حق؟ ، تذكر أن الأشجار تدور حول مركز الأرض وأن الأرض تدور حول الشمس أسرع من أسرع الطائرات . فلو كنت تقول أنه يجب على من يركب سيارة أن يدرك أنه يتحرك لكى يتمكن من وصف الظواهر، فعليك أن تقول أنه لا يوجد أحد قادر على استخدام الفيزياء إلا إذا وجدنا نقطة ثابتة فى الفضاء نقف عندها.حسنا فكر فى هذا جيدا ، قد يبدو غريبا و لكنه بعد قليل سيثبت فى عقلك، هذه هى ميزة الفيزياء الكلاسيكية أنها منطقية جدا.

السؤال #2: أنا أسير بسرعة 30 ميلا هذه المرة و أنت رميت ورائى حجرة بسرعة 40 ميلا. إذن هذه المرة ستلحق بى وستصتدم برأسى. لنعتبر أننى خبير بصدمات الأحجار. وأننى يمكننى أن أخبرك بسرعة الحجرة اعتمادا على الألم الذى تسببه لى . ماذا سأقول عن سرعة الحجرة (إذا كانت الحجرة سرعتها 40 ميلا فى مناط إسنادك فما هى سرعتها فى مناط إسنادى)

الإجابة#2 : سرعتها فى مناط إسنادى 10 ميل . أى إنها تسبب نفس الألم الذى تسببه لى حجرة تسير بسرعة 10 ميل فى الساعة.

كما فى السؤال السابق -كما فى أى سؤال فى النسبية الجاليلية- لدينا الحقائق المقاسة و هى أن الحجرة صدمتنى بسرعة 10 ميل.

على أى حال الأن يأتى الجزء الذى نختلف عليه ، الشرح لسبب هذه السرعة. من مناط إسنادك الحجرة سريعة جدا و لكنها صدمتنى بخفة لأننى أتحرك مبتعدا عنها. من مناط إسنادى أنا ثابت (أنا دائما ثابت فى مناط إسنادى) ولكن الحجرة تسير إلى بسرعة 10 ميل. بأى شكل نحن نتفق على النتيجة.

كل ما قلته حتى الأن أخبار قديمة فى الفيزياء و لكنى خضت فيه لكى أعرف معنى مناط الإسناد القصورى و كيف أن قوانين الفيزياء ثابتة فى كل مناطات الإسناد القصورية . يمكنك أن تلعب الكرة داخل السفينة ولن تشعر باختلاف . يمكنك أن تسقط كرة من منتصف سقف السفينة وستسقط فى منتصف الأرضية سواء كانت السفينة ثابتة أو تتحرك حركة منتظمة.

الأن يجب أن تفهم الاثبات القادم جيدا لأننا سنحتاجه بعد ذلك سنثبت أن الحجرة تسير فى مناط اسنادى بسرعة 10 ميلا فى الساعة.

لنعتبر أنك رميت الحجرة بعدما مررت بك و لحقت بى بعد ساعة. ما المسافة التى قطعتها الحجرة فى ساعة فى مناط اسنادك؟ الاجابة 40 ميلا: بالتعريف ، هذا معنى جملة "الحجرة سرعتها 40 ميلا فى الساعة."

السؤال التالى : ما المسافة التى قطعتها أنا فى مناط اسنادك ؟ 30 ميلا . لأنى أسير بسرعة 30 ميلا فى الساعة.إذن ماذا أرى أنا؟ هذه الحجرة بدأت على بعد 10 أميال منى و فى ساعة واحدة لحقت بى إذن هى ولا شك تسير بسرعة 10 أميال فى الساعة. لأنها فى كل ساعة تقطع 10 أميال تجاهى.

لا بد أن تعرف أن قياس هذه السرعة لا يعتمد على أداة القياس المستخدمة . الأدوات لا تهم. السرعة هى نتيجة تغير المسافة مع الزمن و الأدوات تقيس هذا التغير و حسب. لا بد أن تقتنع بكل كلمة قلناها و تدرك معنى هذه القوانين لجمع السرع فى الميكانيك الكلاسيكى. و أهم شيئ هو ادراك النسبية الكلاسيكية هنا و هى أن القوانين ثابتة فى كل المناطات فقط عليك أن تقيس و ستحصل على نفس النتيجة أيا كانت حركتك طالما أنها منتظمة.

المبحث الثاني

الكهرباء و المغناطيسية

(هندريك لورنتز- جيمس ماكسويل)

رأينا فى المبحث السابق تعريف مبدأ النسبية بالمعنى المقيد وهو أن جميع قوانين الميكانيكا واحدة فى جميع مناطات الإسناد القصورية وأن المشاهدين المتحركين بسرعة منتظمة سيحصلوا على نفس النتائج لأى تجربة ميكانيكية وأنه لا يمكن لشخص ما أن يعرف إذا كان يتحرك أو لا عن طريق أى تجربة ميكانيكية.

ولكن بالرغم من الإشارة الواضحة فى ميكانيك نيوتن إلى الحركة النسبية إلا أن تصور الحركة المطلقة لم يختفى وقد عاب بعض الناس على نيوتن هذا التناقض ولكن نيوتن ظل مقتنعا بالحركة المطلقة لأن هذا التصور المطلق بالتأكيد مريح و لأنه ضرورى فى الحركة غير المنتظمة أن يكون هناك معنى لكلمة حركة.

نبذة سريعة عن تاريخ الضوء

كان أرسطو يقول أن الضوء ينتشر فى المكان بلا زمان أى أن سرعته لانهائية و هذا ما يسمى بالسرعة الأنية.

جاء بن الهيثم بعد ذلك ليبطل هذا التصور و ليجرى بعض التجارب التى أثبتت أن الضوء له سرعة يمكن قياسها و ليست سرعة أنية.

مكث العلماء بعد ذلك يحاولون اثبات كلام بن الهيثم مرة ثانية حتى أثبتوه و بدأوا فى اجراء التجارب لقياس سرعته و تعددت محاولات القياس و فى كل مرة كانوا يقتربون أكثر من السرعة الحقيقية.

أخيرا تم قياس سرعة الضوء و كانت حوالى 300000 كيلومتر فى الثانية و يرمز لها بالرمز(ج) أوC

ماكسويل و الضوء

فى القرن التاسع عشر ظهر الفيزيائى اللامع جيمس كلارك ماكسويل و كان له اسهامات قوية جدا فى الكهرباء و المغناطيسية و اكتشاف قوانين هذه القوى . كما أنه أول من وحد الكهرباء و المغناطيسية فى قوة واحدة هى القوة الكهرومغناطيسية و وضع 4 معادلات رياضية سميت بمعادلات ماكسويل تصف كل ما يتعلق بالكهرباء و المغناطيسية.

كان ماكسويل أول من اكتشف طبيعة الضوء و قد كان هذا الاكتشاف مذهلا حقا فقد أدى إلى نتائج مدهشة و غريبة جدا، لقد اكتشف ماكسويل أن الضوء عبارة عن مجال كهربائى و مجال مغناطيسى يتعامد اتجاههما على بعض و على اتجاه الحركة . و يغير كلا المجالين اتجاهه باستمرار.

كان لهذا الاكتشاف أثر كبير جدا ، فحسب هذا الكلام كان سير الضوء لا بد أن يعتمد على السماحية الكهربية و المغناطيسية للوسط الذى يسير فيه و بما ان الوسط أيا كان لهسماحية ثابتة فلا بد للضوء فيه أن يسير بسرعة ثابتة حسب معادلات ماكسويل و هذه السرعة هى . C نتيجة متعارضة تماما مع قانون جمع السرعات فى النسية الجاليلية . و قد سمى هذا القانون بقانون ثبات سرعة الضوء و أن هذا القانون ضرورى لتفسير نتائج التجارب فى الديناميكا الكهربية.

بالطبع كان لابد من تجاوز هذا التعارض الواضح خاصة أن قانون جمع السرعات منطقى جدا و لا غبار عليه.

فى الواقع لم يكن هذا الأمر هو المشكلة الوحيدة أمام النسبية الجاليلية التى كانت تسعى لاثبات أن قوانين الفيزياء ثابتة فى كل المناطات و نجحت فى هذا جزئيا باثبات أن قوانين الميكانيكا ثابتة فى كل المناطات.

فالكهرومغناطيسية كانت لها نتائج لا تتفق مع النسبية الجاليلية كالنتيجة التى ذكرناها توا عن الضوء فهذه النتيجة تقول بوضوح أنه لو كان كل المشاهدين سيطبقون نفس القوانين الكهرومغناطيسية فلا بد أن يحصلوا على نفس السرعة للضوء و هذا يتعارض مع قانون جمع السرعات المنطقى جدا مما يجعلك تعتقد أنه اما أن النسبية الجاليلية مخطئة و اما أن القوانين الكهرومغناطيسية التى تعطى سرعة ثابتة للضوء مخطئة.

فيما يلى نضع مثالا أخر على تجربة كهرومغناطيسية لا تعطى نفس النتائج فى كل المناطات.

من المعروف أن الشحنات الكهربية المتامثلة تتنافر.

و من المعروف أيضا أن التيار الكهربائى يخلق حوله مجالا مغناطيسيا و أنه إذا كان هناك شحنتان كهربيتان لهما نفس إشارة الشحنة ويسيران فى نفس الاتجاه سيكون بينهما قوة جذب مغناطيسية.

و الأن دعونا نجرى هذه التجربة النظرية و هذا المصطلح سيتكرر كثيرا معنا و هى تجربة لا يمكن اجراءها عمليا.

تخيلو أننى أمسكت بشحنتين متمثالتين و بدأت بالسير فى اتجاه معين ما هى القوة المتبادلة بين هذين الشحنتين؟

بالنسبة لك:

يوجد قوة تنافر كهربية و ليكن قدرها 5 نيوتن

و لكن يوجد أيضا قوة جذب مغناطيسية و ليكن قدرها 3 نيوتن

القوة 2 = 3-5 = نيوتن تنافرية

و لكن بالنسبة لى الشحنتان لا يتحركا فبذلك لا يوجد قوة جذب مغناطيسية و ستكون القوة 5 نيوتن تنافرية!!!

ماذا لاحظتم؟؟ يمكننا اجراء تجارب كهربية و نحدد إذا كنا نتحرك أو لا ، أليس كذلك ؟ كان هذا متعارضا تماما مع نسبية جاليليو . و قد دفع هذا العلماء للتفكير من يقول النتائج الصحيحة و من له الأفضلية.

الأثير ، ما هو و لماذا؟؟؟

قبل أن نخوض أكثر لا بد أن نضرب مثالا صغيرا هنا .

جميعنا يعرف أن الصوت موجة وأن مروره يعتمد على خواص الوسط (و ليكن الهواء) الذى يسير فيه ومع ذلك فنحن لم نفترض أن سرعته ثابتة لكل المشاهدين ولم نحصل على تعارض مع قانون جمع السرعات الكلاسيكى (أحد أركان الميكانيكا الكلاسيكية و النسبية الجاليلية). لماذل إذن لم نحصل على التعارض؟

لو أن هناك شخص ثابت بالنسبة للهواء فهو سيرى سرعة معينة للصوت. لو أن هناك شخصا متحركا بالنسبة للهواء فسيحصل على سرعة مختلفة وهذا لن يشكل مشكلة لأنه حتى لو اعتبر نفسه ثابتا فعليه أن يعتبر أن الهواء متحرك وبما أن الهواء المتحرك لن تتصرف جزيئاته كالهواء الساكن وسيكون للصوت سرعة مختلفة و هكذا فاننا نجد اننا نحافظ على قانون جمع السرعات (السرعة تختلف باختلاف المشاهد) والنسبية الجاليلية (يمكنه اعتبار نفسه ثابتا) دون الاساءة لقوانين الحركة الموجية (سرعة الصوت تعتمد على خواص الوسط فقط) . هكذا فإن انتقال الصوت عبر الهواء حل المشكلة.

ماذا لو كان الضوء كالصوت تماما له وسط يسير فيه و هذا الوسط كالهواء بالنسبة للصوت. عندها سيمكننا أن نتلافى أى تعارض وهنا ظهرت أهمية الأثير الذى كان مفترضا وجوده من قبل ذلك لا أعرف منذ متى تحديدا ولكن ما أعرفه هو أن الأثير كان أحد أقوى الفروض الفيزيائية التى لا يمكن معارضتها آنذاك وهذا الأثير هو الوسط الذى يسير فيه الضوء وهنا كان لا بد من الاعتراف (بسبب بعض التجارب كالتجربة السابقة للشحنات) بأن النسبية الجاليلية لا تسرى على الكهرومغناطيسية وأن قوانين الكهرومغناطيسية تسرى فقط على المشاهد الثابت بالنسبة للأثير وعلى أى مشاهد أخر يتحرك بالنسبة للأثير أن يراعى تأثيرات رياح الأثير عند تطبيق قوانين الفيزياء) أى عليه الاعتراف بأنه يتحرك) ومن هنا كان الأثير له ثلاث فوائد:

الموجات تحتاج لوسط مثل الصوت و موجات المياه و بذلك سيحتاج الضوء لوسط و هذا الوسط هو الأثير.

سرعة الضوء ثابتة بالنسبة للأثير و قدرها (ج) و لكن إذا كنت تتحرك بالنسبة للأثير ستقيس سرعة مختلفة و لكن قياسك لا يسرى لأنك تتحرك و قوانين الكهرومغناطيسية (كقانون ثبات سرعة الضوء) تعمل فى المناط الثابت بالنسبة للأثير فقط

الذى يقول النتائج الصحيحة هو المشاهد الساكن بالنسبة للأثير وله الأفضلية وعلى المتحرك أن يعرف أنه متحرك و يحسب على هذا الأساس لكى يصل للنتائج الصحيحة. بهذه الطريقة تم الحفاظ على قانون جمع السرع إلى حد ما و لكن ظل هذا متناقدا مع نسبية جاليليو. رأى أينشتين أن معادلات ماكسويل جيدة جدا و أنه يجب أن تصلح لكل مناطات الإسناد كما أنه لم يحب فكرة الأثير تلك أبدا . فمبدأ الحركة النسبية كان يعجبه جدا و لكن للأسف هذا المبدأ (فى ظل قانون جمع السرع الكلاسيكى (يتعارض مع قانون ثبات سرعة الضوء الذى هو ضرورى لتفسير العديد من الظواهر فى الديناميكا الكهربية

من هو لورنتز؟؟

لورنتز هو أحد أكبر العلماء الفيزيائيين و قد طور الديناميكا الكهربية كثيرا و قد كان له دورا كبيرا سيظهر فيما بعد و لن نقول الكثير عنه ها هنا و لكن يكفى أن نعرف أن له دور كبير فى الكهرباء و المغناطيسية مع ماكسويل.

المبحث الثالث

قبل ميكانيك الكم

ميكانيك الكم هى أحد ثورات القرن العشرين العلمية و هى أحد أقرب العلوم التى توصلت لوصف دقيق للطبيعة . و لكنها غريبة تماما . إنها تتعارض مع حسنا العام كما أنك يمكن أن تعتبرها نوع من الخيال العلمى الذى لا يمكن لعلماء جادين الأخذ به. سأبث إليكم الأن خبر جيد و لكننى سوف أكتب تحذيرا أيضا.

الخبر الجيد هو أنك لا يجب أن تكون فيزيائيا بارعا لكى تفهم هذه الورقة . و لكن يجب أن احذر أيضا من أن الموضوع صعب الفهم فلا تتوقع فهمه من أول مرة بل انه عليك قراءته مرات كما يجب أن تتوقف بعد كل جزء و تطمئن إلى تمام فهمه . سوف نغطى هنا أسابيع عديدة من الفيزياء الجامعية لأن ما يجعل الجامعيين يأخذون وقتا طويلا هو تعلم القيام بالعمليات الحسابية المعقدة الخاصة بالمواضيع أما نحن فعلى العكس لن نقوم بعمل أى رياضيات .أرجو أن تستمتعوا فى هذا المبحث .

نظرة عامة - إلى أين نحن ذاهبون ؟!

قبل البدء سنقوم برسم الطريق الذى سنسلكه و سوف نعرض نظرة شاملة عن الأشياء التى تتناولها

سنتناول فيزياء القرن التاسع عشر أى الفيزياء الكلاسيكية . إياك أن تترك هذا الجزء لتذهب مباشرة إلى الجزء الشيق لأنه بلا هذا الجزء لن يكون الجزء الشيق شيقا أبدا.

ما هو الضوء؟ و ماذا يحدث عندما تتقابل موجاته ؟ هذه النقاط تشرح لماذا نعتبر الضوء موجة كما تشرح معنى التداخل الموجى.

تجربة يونج للتداخل تعتبر إثباتا ممتازا لتنبؤات الفيزياء الكلاسيكية

تجربة يونج باستخدام الكرات الصغيرة تظهر بوضوح الفرق بين تصرف الجسيمات و الأمواج فى التجربة.

بوصولك لهذه النقطة ستكون ملما بجزء لا بأس به من الفيزياء الكلاسيكية . ستعرف ما هى الموجة و ما هو الجسيم أو الجزئ .

وستعرف ما الفرق بينهما (خاصة بالنسبة للتداخل) و سترى أن تجربة يونج تثبت كل هذه النظريات . لن ترى الأمر سهلا و لكنه يجب أن يكون منطقيا تماما بالنسبة لك.

ما هو الضوء

أحد أهم الأسئلة فى العلوم فى الأونة الماضية كانت "ما هو الضوء؟" . بنهاية القرن الـ19 كان هذا السؤال قد أجيب بإجابة جيدة . الرياضيات "معادلات ماكسويل" تأخذ وقتا لتتعلمها ولكن الفكرة نفسها واضحة جدا.

فى نقطة ما فى المكان يوجد ما يسمى مجال كهربائى . ربما كانوا لا يعرفون تكوينه بالضبط و لكن يمكننا تحديد اتجاهه . يمكننا أن نقول أن فى هذه النقطة مجال كهربائى برؤية تأثيره على جسيم مشحون ونقول أن اتجاه هذا المجال هو الاتجاه الذى يسلكه جسيم موجب تم وضعه فى هذا المجال. هذا المجال يشير لأعلى تعنى أن الجسيم الموجب سينطلق لأعلى لو تم وضعه هنا.

يمكننا قضاء ساعات فى شرح المجال الكهربى و الجسيمات المشحونة و لكن هذا لن يكون له علاقة بموضوعنا . الشيئ المهم هنا هو أنه يمكنك تحت ظروف معينة الحصول على مجال كهربى يشير لأعلى و يمين قليلا لا تجده تماما ثم إلى اليمين قليلا تجده يشير لأسفل . أى يتذبذب كما فى الرسم

الخط العرضى هو احداثى المكان وارتفاع المنحنى يدل على اتجاه المجال الكهربى وشدته. لا يوجد شيئ حقيقى يتحرك لأعلى وأسفل ولكن هذا رسم بيانى لشدة المجال واتجاهه مع المكان. فى الحقيقة هذه الموجة ليست ساكنة و لكنها تتحرك . تخيل أنها تتحرك يمينا وأنك واقف فى طريقها فلو أنك قمت بقياس اتجاه وشدة المجال ستجده يقوى ويضعف ويغير اتجاهه بمرور الوقت.

أحد أهم انجازات الفيزياء الكلاسيكية هو تصوير الضوء كموجة من هذا النوع و شرح كل خصائصه اعتمادا على هذه الصورة له . (فى الواقع يوجد فى الضوء مجال مغناطيسى [لهذا يسمى موجة كهرومغناطيسية] ولكن ليس له علاقة بموضوعنا الأن) . قبل المضى أكثر عليك أن تعلم أن المسافة بين قمتين متتاليتين تسمى "الطول الموجى" و موجات الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة.

عندما تلتقى موجات الضوء

ماذا يحدث عندما تتقابل موجتان ضوئيتان ؟؟ الاجابة هى أن المجالان الكهربينا يتم جمعهما . أى لو أنه فى نقطة ما يشير أحدهما لأعلى بـ3 و الأخر لأعلى بـ 5 . فالمجموع هو لأعلى بـ8 و العكس فلو أن أحدهما يشير لأعلى بـ3 و الأخر لأسفل بـ3 فانك لن تجد مجالا كهربيا فى هذه النقطة.

لو كنت رجلا عمليا ستقوم الأن و تأتى بمصابحين و توجههما لنفس الرقعة على الحائط لترى كيفية جمع الضوء . و لكن للأسف لن ترى شيئا لأن ضوء المصباح هو مجموعة كبيرة عشوائية من موجات مختلفة . و لكن تخيل أن لديك مصباحين يقومان بإطلاق موجتين (موجة من كل منهما) لهما نفس الطول الموجى و يقومان باطلاقهما فى نفس الوقت.

اعتمادا على بعد كل منهما عن الحائط يمكنك رؤية ضوء أو ظلام على حسب الفرق بين شدة المجال فى كلا الموجتين عند هذه النقطة.

فى الصورة التالية تجد موجتين متوازيتان تماما و المجال الكهربى فيهما متساوى عند كل نقطة. عندما يكون موجب فى أحدهما يكون موجب فى الأخرى فيصبح المجموع موجب عالى . و هكذا فالناتج يكون موجة أطول من الموجتين. ضوء مع ضوء يعطى ضوء أقوى.

لو كانوا غير متوازيين بالمعنى السابق (بالانجليزى اسمهم out of phase) فعندما يشير أحدهما لأعلى سيشير الأخر لأسفل فيلغيا بعضهما و ترى ظلام وهذين النوعان يسميان تداخل بناء و تداخل هدام.

نعود لمصباحينا المتميزين لو أنهما يبعدا عن الحائط بنفس المسافة فسوف تكون الموجات متساوية و ترى ضوء قوى . حرك أحدهما للخلف بمسافة تساوى نصف الطول الموجى لترى ظلام حيث أن الموجتان سيصبحا متعاكستان.

أرجو أن يبدو هذا واضحا . للأسف فإن هذه التجربة عمليا مستحيلة ولكن توماس يونج عالم مشهور تمكن من التحايل و وضع فكرة لتنفيذ التجربة اعتمادا على مصدر ضوئى واحد . و لكنه لا بد أن يصدر موجة من نوع واحد (لا تجربها بالمنزل إنها تصلح فى المعمل فقط).

تجربة الفتحات (تجربة يونج)

تسمى هذه التجربة بالفتحات و ستعرف لماذا . سنضع مصدر للضوء أمام حائط أسود و بينهما قطعة من الكرتون بحيث لا يعبر الضوء . الأن تقوم بعمل فتحة رأسية فى الكرتون بحيث يعبر بعض الضوء .

السؤال : ماذا ترى على الحائط؟؟

لو أن الضوء يسير فى خطوط مستقيمة من مصدر الضوء نحو الحائط فسترى خط رأسى من الضوء . و لكن فى الواقع فان الضوء يشع للخارج (ظاهرة تشتت الضوء). وبذلك فما ستراه هو عمود من الضوء خلف الفتحة و يضعف الضوء نحو الأجناب هذه النقطة ليست غريبة و هى ليست ذات أهمية شديدة فهى فقط تثبت أن الضوء يشع للخارج . لكن ماذا لو أنك أضفت فتحة أخرى بجانب الأولى ؟؟

ربما تتوقع رؤية نفس الشكل السابق موجود مرتين ، و لكن ما تراه هو منظر جديد . ترى عواميد من الضوء بينها عواميد من الظلمة.

هذا يبدو غريبا حقا. بعض الأماكن التى كانت مضيئة فى التجربة الأولى أصبحت مظلمة عندما فتحت فتحة أخرى . قم بتغطية هذه الفتحة و سترى هذه المناطق تضئ مرة أخرى . هذه النتيجة منطقية جدا فى ظل النظرية الموجية للضوء . تذكر أنه عندما تمر موجة ضوئية من احدى الفتحات تقوم بالانتشار فى كل الاتجاهات (كل فتحة تعمل كمصدر ضوئى)

و هكذا فإن كل نقطة على الحائط تستقبل شعاعين ، واحدا من كل فتحة كما فى الصورة نرى هنا أن الشعاعين بدئا متساويين و لكنهما سارا مسافات مختلفة و هذا يعيدنا للشرح السابق عندما تلتقى أشعة الضوء . فلو كلا الشعاعين عند الالتقاء كانوا يشيرون معا لأعلى أو لأسفل فستكون هذه النقطة مضيئة و العكس صحيح .

الفرق بين مسار الشعاعين يختلف عند كل نقطة و بذلك فستختلف الحالة عند كل نقطة و سيختلف نوع التداخل و هذا يفسر المنظر الذى تم رؤيته.

تجربة الفتحات باستخدام الكرات الصغيرة:

منذ البداية حتى الأن قمنا بتغطية جزء لا بأس منه فلا مانع فى أخذ دقيقة أو اثنين لمراجعته و التأكد من أن النتيجة فعلا منطقية.

سنعيد التجربة باستخدام كرات صغيرة مدهونة بالأبيض مثلا.

سنعيد التجربة الأولى و لكن بدلا من مصدر الضوء سنستخدم مكنة (أو مدفع) يطلق كرات صغيرة مدهونة بالأبيض لتترك صبغة على الحائط الأسود لنعرف أين ذهبت . هذا المدفع يطلق كرة تلو الأخرى . قم بعمل فتحة واحدة و انظر أبن تذهب الكرات.

المدفع يطلق كل كرة بنفس الطريقة و فى نفس مسار الكرة السابقة أى أن الكرات لا تنطلق مثل الضوء فى كل الاتجاهات و بذلك فستجد أن كل الكرات ترتطم بنفس النقطة على الحائط

لنجعل الأمر مسليا أكثر. قف خلف المدفع و أثناء انطلاق الكرات قم بتحريك المدفع لأعلى و أسفل و يمينا و يسارا و كل الاتجاهات بسرعة (أى قم بهزه). الأن ماذا ستجد ؟؟

الكثير من الكرات لن تعبر الفتحة و لكن تلك التى ستعبر سوف ترتطم بالحائط تاركة أثرها و لكن ليس لازما أن تصل للحائط خلف الفتحة مباشرة فتذكر أن الكرات تنتطلق فى كل الاتجاهات نتيجة تحريكك المدفع .

بعد أن تطلق عددا كبيرا من الكرات توقف و انظر للحائط . سترى نتيجة مشابهة لنتيجة الضوء تماما . عمود من اللون الأبيض يقل كثافة نحو الأجناب

قم بعمل فتحة أخرى واستمر باطلاق الكرات بجميع الاتجاهات . ماذا ستجد الأن؟؟ عواميد متبادلة ؟؟ لا ،ما ستراه هو أثر الكرات المنطلقة من الفتحة الأولى بجانب أثر تلك المنطلقة من الفتحة الثانية . الكرات تتطلق واحدة تلو الأخرى و بذلك فلن تصطدم كرتان أو ما شابه . ستجد الشكل الذى رأيته عند عمل فتحة واحدة مكرر مرتين .

بعض الفروق هى:

الجسيمات "كمية" أو " متفرقة" هذا يعنى أنها وحدات متفرقة : كرة ، كرتان، 3 كرات ،.... إلخ. الموجات لا تأتى فى صورة أشياء متفرقة بل هى تغير أو اضطراب عام موجود فى مساحة أو منطقة

شيئ أخر عن الكمية . يوجد ما يسمى "بأصغر وحدة" . لو أن لديك حفنة من الكرات و قمت بقسمها سيصبح لديك حفنتان أصغر من الكرات . و لكن لو انك استمريت فى التقسيم فستصل إلى كرات متفرقة لا يمكنك قسمها لأنها بعد قسمها لن تكون كرة . هذا يعنى أن الكرة هى أصغر وحدة ممكنة للكرات . على الناحية الأخرى يمكنك الاستمرار فى تقطيع ارتفاع الموجة و لكنها ستظل موجة.

الموجات يمكنها أن تتداخل بنوعين اما بناء أو هدام . أما الجسيمات فنوع واحد هو البناء.5 كرات مع3 كرات يعطوا 8 كرات لا يمكن أن يعطوا 2.

بسبب الاختلاف فى طريقة جمع الجسيمات و الأمواج فإنهما يعطيان نتائج مختلفة فى تجربة الفتحتين ليونج . مع الموجات ترى نقاط مظلمة حيث تلغى الموجات بعضها . مع الجسيمات لا يوج الغاء . أنت ترى عمودين كبيرين من الدهان.عند هذه النقطة تكون قد عرفت كل ما تحتاج عن الفيزياء الكلاسيكية . اذا لم تفهم نتيجة تجربة يونج قم بقراءة " عندما تتاقبل موجات الضوء" و افهم كيف تتداخل الموجات ثم اقرأ التجربة مرة أخرى . تأكد من أن كل النتائج منطقية حتى لو تتطلب ذلك القراءة عدة مرات.

المبحث الرابع

انهيار الفيزياء الكلاسيكية

تفكير ميكلسون لإيجاد سرعة الأثير

بعدما قام ميكلسون بقياس سرعة الضوء أراد ان يقوم بعمل إنجاز أخر و هو قياس سرعة رياح الأثير بالنسبة للأرض و كان يتوقع أن هذه السرعة لا بد و أن تكون أقل بكثير من سرعة الضوء و إلا لكنا لاحظنا تأثيرها فى حياتنا اليومية.

اراد ميكلسون ان يستخدم نفس الفكرة التى يمكنك عملها لقياس سرعة الرياح عن طريق سرعة الصوت فكما قلنا ان سرعة الضوء ستكون ثابتة بالنسبة لرياح الأثير فإذاقمنا بإرسال شعاع ضوءى إلى مرأة ثم انعكس الينا سيكون قد ذهب فى رحلة الذهاب فى نفس اتجاه الرياح مثلا و بذلك سيعود فى عكس اتجاه الرياح إذن يمكننا ببساطة أن نقيس الفرق بين سرعته فى الرحلتين و يكون هذا الفارق هو ضعف سرعة رياح الأثير وسيكون بإمكاننا تدوير الجهاز المستخدم فى التجربة حتى نجعل شعاع الضوء موازى لاتجاه الرياح.

و لكن للأسف لا يوجد جهاز واحد قادر على قياس سرعة رحلة الضوء فى اتجاه واحد و كانت جميع القياسات تعتمد على قياس سرعة الضوء فى رحلة من اتجاهين (أى أن يطلقوا شعاع من الضوء إلى مرأة ثم يعود و يقوموا بقسمة المسافة الكلية على الزمن الكلى) و إذا استخدم هذا التكنيك فإن تأثير الرحلتين على سرعة الضوء سيلغيان بعضهما و لن نصل إلى سرعة الأثير.

هنا خطرت فى بال مكلسون فكرة مذهلة يمكنه بها قياس سرعة الأثير و قد كانت فكرتها كما يلى:

لو كان لدينا نهرا عرضه س (و ليكن 100 متر) و لدينا سباحان يعومان بنفس السرعة فى المياه الساكنة و لتكن 5 متر فى الثانية . لو كان النهر يسير بسرعة ثابتة بالنسبة للضفة و لتكن ص (و لتكن 3 متر فى الثانية) . سنقيم سباقا بالطريقة التالية ، السباح الأول يعوم بعرض النهر فى خط عمودى على الضفة إلى الضفة المقابلة و يعود . أما الأخر فسيعوم بطول النهر مسافة 100 متر و يعود.

السباح الثانى سيعوم مع عكس التيار فى الذهاب و بذلك تكون سرعته بالنسبة للضفة 2 متر فى الثانية و تستغرق رحلته للذهاب 50 ثانية أما فى العودة فستكون سرعته 8 متر فى الثانية و ستستغرق رحلته 12.5 ثانية و بذلك سيكون زمن رحلته كلها 62.5 ثانية.

بالنسبة لحساب سرعة السباح الأول بالنسبة للضفة فستكون ناتجة من سرعتان فعليه أن يعوم بسرعته فى اتجاه زاوية معينة بحيث أنه لو لا يوجد تيار سيبتعد عن الخط ب 3 متر كل ثانية أما فى وجود التيار فسيلغى التيار هذا التأثير لأنه سيعيد السباح مرة أخرى (السباحين يفعلوا هذا ذاتيا دون شعور) .

ستكون سرعة السباح إذا بالنسبة للضفة عن طريق قانون فيثاغورث 4 متر فى الثانية و بذلك سيقطع ال200 متر فى 50 ثانية واضح أنه سيصل قبل الثانى ب12.5 ثانية . إذا كنا لا نعلم سرعة النهر و لكن لدينا كل المعطيات الأخرى سنتمكن من حساب سرعة النهر ببساطة.

تجربة ميكلسون -مورلى:

فكر ميكلسون فى عمل نفس الشيئ فالأثير هو النهر و الضوء هو السباح. سرعة الضوء بالنسبة للأثير C و سرعة رياح الأثير النسبة لنا V و قد كان معتقدا أن سرعة رياح الأثير ستكون قريبة من سرعة دوران الأرض حول الشمس و على أية حال فإن لم يكن الأثير ثابتا بالنسبة للشمس ستتغير سرعة الأثير بالنسبة للأرض على مدار اليوم و السنة ولنضع فى الحسبان أيضا أننا لا نعرف اتجاه الرياح و بذلك فلا بد من أن يكون جهاز التجربة قادر على الالتفاف حول المحور 360 درجة بهذا نضمن أن احد الشعاعين سيكون موازى للرياح و الأخر عموديا عليها مرتين على الأقل و فى هذا الوقت سيصل الشعاع العمودى أولا و لكن بقيت مشكلة أنه فى حال كانت رياح الأثيرسرعتها قليلة فعلا كما توقعوا سيصبح الفارق بين الشعاعين قليلا حيث لا يمكن لأى جهاز رؤيته و لكن تم التغلب على هذه المشكلة

فإذا كنا لا نستطيع رؤية السباحين فلنقل لهم "إذا لم تصلا فى نفس الوقت فليصيح السباح العمودى و لتكن قوة الصيحة متناسبة مع فارق الوقت" هذا هو بالضبط ما يفعله الضوء دون أن نخبره و سنرى كيف هذا فى تصميم الجهاز .تم تصميم الجهاز كالتالى:

مصدر يطلق شعاع ضوئى يسقط على مرأة نصف عاكسة بزاوية 45 درجة و بذلك سيمر نصف الشعاع بلا تغيير إلى الجانب الأخر بينما ينعكس النصف الأخر بزاوية 45 درجة ليصبح عموديا على الشعاع الأخر

تم وضع مرأة فى نهاية طريق كل من الشعاعين بحيث تكون المسافة بين مرأة كل شعاع و بين المرأة النصف عاكسة متساوية

بذلك سيرتد الشعاعين ليلتقيا مرة أخرى عند المرأة النصف عاكسة . نصف الشعاع الموازى سينعكس إلى أسفل كما سيمر نصف الشعاع العمودى إلى أسفل

هل لاحظتم ماذا حدث عند المرأة النصف عاكسة؟؟ نعم، لقد حدث تداخل بين الشعاعين و بم أنهما لم يأتيا فى نفس الوقت فسيحدث التداخل كما شرحنا و إذا وضعنا حائطا مثلا أمام الشعاعين فسترتسم الأهداب الضوئية عليه و سيتناسب حجم الأهداب الضوئية مع الفارق الزمنى بين الشعاعين. فكرة عبقرية ، أليس كذلك ؟ . هكذا تم الإعداد لكل شيء. بالطبع أنا لم اكتب الحسابات هنا و لكن يمكن استنتاجها بسهولة

كما فعلنا فى مسألة النهر. يمكنك الذهاب إلى هذا الرابط و رؤية التجربة كفلاش سيمكنك تغيير سرعة الأثير وملاحظة التأثير على الشعاعين تحت كل التوقعات كانت ستكون الأهداب واضحة جدا . تم اجراء التجربة عام 1887 م و لكن ماذا كان حجم الأهداب الضوئية؟ لقد كانت النتيجة مفاجأة و صدمة عنيفة لكل علماء الفيزياء فالنتيجة كانت: لا أهداب ضوئية !! الشعاعين وصلا معا تماما !!ماذا تعنى هذه النتيجة ؟؟

محاولات تفسير النتيجة

كانت هذه التجربة أعظم تجربة فاشلة فى التاريخ فلم تلقى أى تجربة قبل ذلك كل هذه المحاولات لتفسيرها لكى تحافظ على المبادئ الكلاسيكية .

تعددت المحاولات و سنذكر هنا محاولتين فقط:

الأولى : قام العلماء بافتراض أن الأثير المحيط بالأرض ثابت بالنسبة لها أو بمعنى أصح ملتصق بها و لكن يمكن فورا تبين مدى سذاجة هذا الفرض ولقد سقط فورا لأنه لو كان المر كذلك فعلى الضوء أن ينكسر عند العبور من الأثير الخارجى إلى الأثير الأرضى وهذا سيؤدى إلى أن ترى مواقع مختلفة للكواكب والشمس النجوم فى الأوقاتالمختلفة ولكن هذا لم يكن الحال طبعا

الثانية (فرض فيتزرجيرالد و لورنتز للانكماش) : بالطبع كان لورنتز من أول المحاولين لتفسير هذه النتائج لكى ينقذ نظريته فتم وضع هذا الافتراض "الأشياء تنكمش فى اتجاه حركتها الموازى للأثير وكمية الإنكماش تعتمد على سرعة الأشياء" أى أنك لو وضعت طول مسطرة فى اتجاه موازى لحركتها فى الأثير فسينكمش طولها و إذا وضعتها بالعرض يبقى طولها كما هو و لكن ينكمش طول محورها العرضى و هذا لأن الأجسام تنكمش فى اتجاه حركتها بالنسبة للأثير و نحن لا نلاحظ هذا الإنكماش لأنه صغير جدا نتيجة السرعات الصغيرة التى نسير بها . و بذلك فقد تمكن الشعاع الموازى من اللحاق بالشعاع الأخر ببساطة لأنه سار مسافة أقل نتيجة انكماش طريقه و لن يمكننا رؤية انكماش الذراع لأن اى مسطرة ستحاول قياس الذراع ستنكمش بدورها و حسب معادلة لورنتز فهذا الانكماش مساوى تماما للفارق المتوقع من قبل ميكلسون و مورلى . و هذا بالطبع يفسر النتيجة.

اينشتين يبدأ فى الظهور

رأى أينشتين أن فرضية لورنتز تلك ليس لها أى علاقة ببقية نظريته فى الديناميكا الكهربية كما أنها تقول ان انكماش الطول يعتمد على حركة الجسم بالنسبة للأثير. فإذا كنا لا نستطيع أن نحدد سرعتنا بالنسبة للأثير فكيف لنا أن نكتب قوانين تعتمد على سرعة الأجسام بالنسبة للأثير.

فى بداية ورقة أينشتين عن النسبية الخاصة عرض هذا المثال:

كلنا يعلم أننا لو مررنا قضيب مغناطيس من خلال ملف معدنى فسيتولد طاقة كهربائية فى الملف .

إذا كان الملف هو الثابت و المغناطيس هو المتحرك بسرعة v إلى اليمين فسيتولد تيار كهربى فى اتجاه معين و كميته I و ذلك بسبب خلق مجال كهربى فى الأثير عن طريق حركة المغناطيس فيه (قانون فاراداى).

إذا كان المغناطيس ثابت و حركنا الملف بالسرعة v- لليسار فسيتولد تيلر كهربى له نفس الكمية I و نفس الاتجاه كما فى الحالة الأولى والسبب هنا مختلف فلا يوجد تيار كهربى فى الأثير لأن المغناطيس ثابت و لكن التيار موجود فى الملف نتيجة انه يسير فى مجال مغناطيسى(قانون لورنتز) اختلاف تام فى الشرح لم يؤدى إلى أى اختلاف فى النتيجة و كل ذلك للحفاظ على الأثير فى نفس الوقت لم تنجح أى محاولة لاكتشاف الأثير فى الكشف عنه فما الداعى لهذا الأثير اللعين ؟ اى شيئ سوف ينتج نتيجة الحركة النسبية بين الأجسام و ليس نتيجة الحركة بالنسبة للأثير . بذلك تم القضاء على الأثير و بما أنه لا أثير فسيكون لهذا نتائج مذهلة سنراها فى الحلقات القادمة . فمبدأ النسبية سيعود مرة أخرى و لكن بمعنى مختلف يؤدى إلى تغيرات جذرية فى طريقة تفكيرنا تنافى كل ما نعتقده.

المبحث الخامس

النسبية الخاصة1

في المبحث السابقة سقط الأثير و ثبت فشل قانون جمع السرعات مع الضوء . أينشتين أصدر نظريته الجديدة التى حل هذه الأمور فيها وفى نفس الوقت توصل لنتائج تنافى معظم خبرتنا عن الزمان و المكان . ستبدو النتائج غريبة لنا لأننا لم نعتد عليها لأننا فى حياتنا اليومية نحرك الأجسام بسرعات ضئيلة جدا . سوف أحاول ذكر كل المعادلات و الرياضيات حتى يتسنى لكم الفهم الكامل للموضوع.

مبادئ النسبية الخاصة

مبدأ النسبية : قوانين الفيزياء

(الميكانيكا،الكهرومغناطيسية،...إلخ) لابد أن تكون ثابتة فى جميع مناطات الإسناد القصورية (التى تتحرك بسرعات منتظمة بالنسبة لبعضها)

ثبات سرعة الضوء: سرعة الضوء فى الفراغ ثابتة بالنسبة لكل المشاهدين فى كل مناطات الإسناد القصورية و هى السرعة القصوى التى لا يمكن لأى جسم تخطيها و لا تعتمد على سرعة المصدر أو سرعة المشاهد وهى c=3*10^8m/sec

المبدأ الأول: يقول أن كل قوانين الفيزياء -الكهربية ،المغناطيسية، الميكانيكية،....- تبقى كما هى فى جميع مناطات الإسناد القصورية و ليست القوانين الميكانكية فقط كما تقول نسبية جاليليو أى أنك لا يمكن أن تجرى أى تجربة (قياس سرعة الضوء مثلا) تخبرك ما إذا كنت تتحرك أو لا وبذلك فلا معنى للحركة المطلقة.

لاحظ أن المبدأ الثانى نتيجة مباشرة للمبدأ الأول فلو كانت سرعة الضوء تختلف باختلاف المشاهد لأمكننا ان نحدد من يتحرك ولوجدنا نفسنا نناقض المبدأ الأول .

على الرغم من أن تجربة ميكلسون-مورلى قد أجريت قبل ظهور اينشتين إلا أنه ليس واضحا إن كان أينشتين كان على علم بها أو لا ، أيا كان الأمر فسنجد أنه فى ضوءالنظرية الجديدة تصبح النتيجة التى وجدها ميكلسون و مورلى ليست غريبة فالضوء سار مسافات متساوية و بنفس السرعة c فكلا الشعاعين لا تعتمد سرعتهما على سرعةالجهاز.

هل بدأت تشعر بغياب الألفة و المنطق فى الحديث ؟؟ إن كنت لم تشعر بهذا بعد دعنا نسأل هذا السؤال :

إذا كنت أنت واقفا على نجم ما و بجانبك مشاهد أخر يستعد للرحيل على صاروخ بسرعة 0.5 cو عندما مر بجانبك بهذه السرعة أطلقت أنت شعاعا من الضوء بنفس اتجاهه بسرعة c بالنسبة لك .

ما هى سرعة الشعاع بالنسبة للمشاهد الأخر؟

إنها c أيضا . هل فهمت ما يعنيه هذا؟؟

لو نظرت إلى شعاع الضوء بعد مرور ثانية على ساعتك ستجد أن الضوء يبعد عنك 300000 كيلومترا و يبعد المشاهد الأخر عنك 150000 كيلومترا و ذلك فبالنسبة لك الضوء يبعد عن المشاهد الأخر 150000 كيلومترا و لكن لو نظر المشاهد الأخر فى الضوء بعد ثانية واحدة لوجده على بعد 300000 كيلومترا منه أيضا!!!

هذا ربما يعنى أن ساعاتكما لا تسيران بنفس المعدل أو أنكما تريا المسافات بتقديرات مختلفة . دعونا نترك هذه النقطة الأن ، أنا عرضت هذا السؤال فقط لأريكم مدى الغرابة و لكى أعرض نقطة أخرى فى غاية الاهمية و هى أن كل منكم سيرى الضوء يبتعد عنه بمعدل 300000 كيلومتر فى الثانية و هذا ما تقره النسبية لكن ربما ترى انت أن الضوء يبتعد عن المشاهد الأخر بمعدل 150000 كيلومتر فى الثانية و فى هذه الحالة فمن الأفضل أن لا نسمى هذه "سرعة الشعاع بالنسبة للمشاهد فى مناطى" ولكن نسميها "معدل تغير المسافة بين الشعاع و المشاهد الأخر بالنسبة لى أو كما أراها أنا" . و لكن تذكر أن كل مشاهد سيظل يرى شعاع الضوء يبتعد عنه بنفس السرعة c .

وصف الأحداث:

قبل أن نتطرق إلى تبعيات النسبية علينا أولا أن نتذكر كيف يصف المشاهد أى حدث. يصف كل مشاهد فى أى مناط الحدث بثلاث إحداثيات مكانية وإحداثى زمنى وبذلك ينشئ نظام إحداثيات و كل مشاهد يتحرك بالنسبة للأخر سيجعل مركز إحداثياته مختلفا عن الأخر و بالطبع سيصبح إحداثيات كل حدث مختلفة من مشاهد إلى أخر و هذا كلام قديم فلو كان الحدث هو انفجار صاروخ مثلا فسيرى كل مشاهد أن هذا الحدث يبعد عن مركز إحداثياته بمسافات معينة و لكن فى الفيزياء القديمة كانوا جميعا يتفقون على الإحداثى الزمنى.

نسبية التزامن:

كما ذكرنا سابقا فقد اعتمدت ميكانيكا نيوتن على الزمن الكونى المطلق حتى أن نيوتن نفسه قال :" الزمن الرياضى الحقيقى و المطلق يسير بدون التأثر بأى شيء خارجى" و بذلك كان التزامن مطلقا أى أن الحدثين اللذان يحدثان فى نفس الوقت بالنسبة لمشاهد ما هما متزامنين بالنسبة لكل المشاهدين ولكن أينشتين لغى هذا المبدأ تماما وقد أجرى هذه التجربة الذهنية ليوضح كيف هذا.

عربة قطار تتحرك بسرعة منتظمة و فى لحظة ما ضربت صاعقتان مقدمتها و مؤخرتها و تركت علامات على الأرض وعلى العربة . العلامات على الأرض هى A و B و العلامات على العربة `A و `B. هناك مشاهدان O يقف فى منتصف المسافة على الأرض و `O يقف فى منتصف العربة.

واضح أن الإشارات الضوئية التى ستنطلق من A و B عند ضربهما بالصاعقة ستصل O فى نفس الوقت و عندما يود أن يعرف متى حدثت الصاعقتان فعلا فإنه سيطرح الوقت الذى أخذه الضوء من الوقت التى تقرأه ساعته و سيجد أن كل شعاع استغرق نفس كمية الوقت نظرا لأن كلاهما سار نفس السرعة نفس المسافة فلو كان الوقت ثانيةمثلا فسيستنتج أن كل حدث وقع قبل ثانية واحدة من وصول الضوء له و بما أن الضوء وصله فى نفس الوقت فقد وقع الحدثان فى نفس الوقت بالنسبة لـ O

من وجهة نظر `O عندما وصل الشعاعان إلى O كان `O قد تحرك وواضح من الرسم أن الإشارة من `B وصلته قبل الإشارة من `A. فى الميكانيك الكلاسيكى كان سيقول أن الضوء قطع نفس المسافة (وهى نصف عربة القطار) ولكن بسرعات مختلفة نظرا لقانون جمع السرعات وبذلك فرغم أن الشعاعان وصلوا إليه فى أوقات مختلفة (من `B قبل `A)إلا أن الشعاع المتأخر أخذ وقت أطول و بذلك فعندما يطرح الوقت فسيصل إلى أن كلا الحدثين حدثا معا ولكن هذه ليست الحالة هنا فكما بينت تجربة ميكلسون- مورلى أن سرعة الضوء ثابتة أى أن كلا الشعاعين هنا سارا بنفس السرعة فبذلك سيستنتج `O أن الصاعقة ضربت مقدمة القطار قبل مؤخرته أى أن الحدثين ليسا متزامنين .

وبذلك نصل لمبدأ نسبية التزامن الذى هو نتيجة مباشرة لقانون ثبات سرعة الضوء . بالطبع نحن لا نشعر بهذا فى حياتنا اليومية لأننا ببساطة نتحرك بسرعات قليلة جدا مقارنة الضوء و لكن هذه التأثيرات حقيقية.

الحدثان المتزامنان فى مناط إسناد معين ليسا بالضرورة متزامنان فى مناط إسناد أخر يتحرك بالنسبة للأول.

تمدد الزمن:

بإمكاننا توضيح ظاهرة تمدد الزمن عن طريق التجربة الذهنية الموضحة فى الصورة . لدينا عربة قطار تتحرك بالسرعة V وفيها المشاهد `O وفى السقف يوجد مرآة .يمسك فى يده مصدر للضوء والمسافة ين المصدر والمرآة .d فى لحظة ما أطلق نبضة ضوئية (الحدث 1 ) باتجاه المرآة فانعكست وعادت إليه مرة أخرى ، وصولها إلى المصدر مرة أخرى هو الحدث 2 .الزمن بين الحدثين بالنسبة ل `O يسمى الزمن التام) الزمن التام يقيسه مشاهد بين حدثين وقعا فى نفس النقطة فى مناط إسناده) والزمن هنا هو المسافة الكلية على سرعة الشعاع .

لنرى نفس الأحداث من وجهة نظر .O بالنسبة ل O تتحرك العربة وما داخلها بسرعة V وبذلك فعند وصول الضوء للمرآة تكون قد تحركت مسافة V t/2حيث t هو الوقت الذى يستغرقه الضوء للوصول للمرآة ثم العودة مرة أخرى للمصدر بالنسبة ل .Oلاحظ أن O سيرى الضوء يصنع زاوية ما لكى يصل للمرآة و يعود

و من الواضح هنا أنالمسافة التى يسيرها الشعاع فى نظر O أكبر و نظرا لأن الضوء يتحرك نفس السرعة فمن الواضح أن O سيقيس زمن أطول بين الحدثين . (لاحظ هنا أنه لا يعرف أى منهما إن كان يتحرك أو لا) لو أن O شاهد نفس التجربةوالعربة ساكنة لقاس نفس الفارق الذى قاسه `O و لكن لأنه رآها تتحرك فقد وجد أن الفارق أطول و بذلك نصل إلى أن المشاهد يرى الساعات المتحركة تسير أبطأ من ساعته. فلو اعتبرنا أن الضوء يستغرق ثانية فى هذه الرحلة وهم يستخدمون هذه الأجهزة كساعات فلو أن O معه جهاز مماثل على الأرض فسيرى الضوء يقطع الرحلة فى زمن أقصر مما يقطعه فى القطار وبذلك فسيجد ساعته الضوءية تسير أسرع من الساعة التى فى القطار .

بإمكاننا استنتاج العلاقة بين الزمنين باستخدام المثلث الموضح فى الصورة لاحظ أنه من وجهة نظر `O فإن ساعته الضوئية ساكنة وساعة O هى المتحركة وبذلك سيرى أن ساعة O تسير أبطأ من ساعته . وبذلك نجد أن كل منهم يرى أن ساعة الأخر تسير أبطأ منه وهذا لأنه لا يوجد مشاهد له أفضلية على الأخر فكلاهما يرى نفس الظواهر ولا يمكنه تحديد ما إذا كان يتحرك أو لا. لاحظ أن العلاقة بين الزمنين هنا تعتمد على السرعة النسبية بين الجسمين وليس على سرعة الجسم بالنسبة للأثير كما كان يقول لورنتز وهذه المعادلات والمعادلات القادمة هى تعديلات لمعادلات لورنتز.

هذا الكلام بالطبع لا ينطبق على الساعات الضوئية فقط بل ينطبق كذلك على الساعات الميكانكية التى ترتديها كما ينطبق على كل العمليات الحيوية و كل شيئ فأنت دائما سترى الأشياء تستغرق وقت أطول فى المناط المتحرك بالنسبة لك.

والأن لنوضح ما المقصود بالزمن التام لنسأل هذا السؤال:

هذا يعنى أنك سترى نبضة القلب لرائد فضاء يتحرك بالنسبة لك تأخذ زمنا أطول من نبضة قلبك بينما لا يشعر رائد الفضاء بهذا بل هو من سيرى أن نبضة قلبك أنت تأخذ زمنا أطول من نبضة قلبه هو .

بالطبع عندما نأتى لرسم الزمكان ربما تتضح بعض النقاط التى تبدو مبهمة بعض الشيئ الأن و لكن ما زال أمامنا بعض الوقت حتى نصل إلى هذه النقطة.

بالطبع الكلام يبدو غريبا فى هذه النظرية لذلك أنصحكم بالتأمل فيه و قرآته عدة مرات حتى تقتنعوا به تماما . لقد قمت بوضع المعادلات وسأقوم بوضع بعض المسائل أيضا لكى يتم الفهم الكامل للموضوع . وأنا على استعداد للإجابة عن كافة الأسئلة.

فى نهاية هذه المبحث نصل لأننا فقدنا التزامن و بذلك أصبحت كلمة "فى نفس الوقت" ليس لها معنى إلا عندما تذكر مناط الإسناد الذى تتكلم عنه كما أصبحت بعض الاسئلة مثل "متى حدث هذا؟" مستحيلة الإجابة إلا إذا ذكرت بالنسبة لمن. و ما زال هناك العديد من النتائج المذهلة لهذه النظرية التى غيرت تصورنا للعالم تماما.

المبحث السادس

النسبية الخاصة2

حتى الآن قمنا بتغطية جزء جيد و لكن ما زال هناك الكثير أمامنا . فى المرة السابقة تعرضنا لأحد أغرب نتائج النسبية و هى تمدد الزمن و لقد أثبتنا ذلك وتوصلنا للعلاقة التى تربط الزمن التام بالزمن الذى يقيسه المشاهد الأخر.

أنا أريد أن أقول شيئا . كلما نصل لنتيجة و نضع اثباتها أريدكم أن تتفكروا لماذا لم يتوصل نيوتن لهذه النتائج، بالتأكيد لم يكن نيوتن غبياأو سيئا بل كان عبقريا.

و لقد حاولت أن أوضح فى كل نتيجة لماذا لم تتوصل الميكانيكا الكلاسيكية لها . يعنى فى نسبية التزامن أكيد كل الناس كانت ملاحظة أن الاشارات ستصل فى وقت مختلف بالنسبة لكل مشاهد و لكن لماذا لم تتوصل إلى نسبية التزامن ، هذا ما أقصده . و لقد وضحت ذلك فى شرح نسبية التزامن.

الاثبات التجريبى لتمدد الزمن

كم يبدو تمدد الزمن غريبا فعلا و ليس من السهل أن تقبله و لكن ماذا لو أخبرتك أنه لحسن الحظ يوجد إثبات تجريبى قاطع لهذه الظاهرة .

يوجد نوع من الجزيئات يسمى الميون . فى هذه التجربة سنضع أرقاما افتراضية خاطئة لأن الأرقام الحقيقية صعبة فعلا.

المهم أن حياة الميون مثلا 4 ثوانى . و بذلك فسيتحلل بعد 4 ثوانى . لنقل الأن أن سرعته 0.6 c و كما ذكرنا فـ cهى سرعة الضوء . أطلقنا أحد هذه الميونات الأن ، إذن ما هى المسافة التى سيقطعها هذا الميون قبل أن يتحلل؟؟

يمكننا حساب ذلك ببساطة فالمسافة هى ناتج ضرب السرعة فى الزمن و سنقول أن الميون سيقطع مسافة 2.4 c متر . أى 720000 كيلومتر.

حسنا الأن سنجرى التجربة . ماذا وجدنا فعلا ؟؟ ما المسافة التى قطعها الميون فعلا ؟؟ ما وجدناه أن الميون قطع 900000 كيلومتر (3 . c)ما معنى هذا يا ترى ؟ نحن متأكدين من سرعة الميون و نقيسها فعلا كذلك إذن فكما يبدو أن الميون قد عاش أطول لو حسبناها سيبدو كما لو أن الميون قد عاش 5 ثوانى.

المفاجأة إنه يتفق تماما مع تنبؤ المعادلة فالميون يقيس الزمن التام لحياته فهو بدأ و انتهى فى نفس النقطة (لأنه ثابت فى مناط اسناده) و كذلك سيبدو كما لو كان زمنه تباطأ فى مناطنا بنفس النسبة التى قالتها النسبية تماما.

و لكن مهلا ، أليس هنا من يفكر قليلا . هناك سؤال لا بد من طرحه هنا و هو واضح تماما . ماذا عن الميون نفسه؟؟ ببساطة الميون لا يدرى أنه يتحرك بل هو يقول أنه ثابت و بذلك فهو ما زال يقيس حياته 4 ثوانى كيف إذن سيفسر اجتيازه لهذه المسافة الطويلة ؟؟

سؤال قوى فعلا و لكن كما يمكنك أن تخمن هناك حتما رد قوى و تفسير ممتاز سنذكره بعد قليل.

مفارقة التوائم:

الأن سنذكر واحدة من أهم التجارب النظرية التى أيضا ستختبر ظاهرة تمدد الزمن .

تخيل أن لدينا توأمين هما أحمد و محمد ، محمد شخص مغامر يحب السفر للفضاء و قرر أن يذهب فى رحلة فضائية فى خط مستقيم ثم يلف و يعود للأرض مرة أخرى . ودع الأخوين أحدهما الأخر و هما فى نفس السن بالضبط . انطلق محمد على متن الصاروخ . الأن عند عودته ماذا سيرى كلاهما ؟

أحمد ثابت على الأرض و بذلك يرى زمن محمد يتباطأ و بينما تمر سنين كثيرة على أحمد فهو يرى أن محمد لم يكبر كثيرا و بذلك فسيستنتج ببساطة أنه عند العودة سيكون محمد شابا بينما هو نفسه سيكون قد أصبح عجوزا و لا يوجد اعتراض فعلا على كلامه.

و لكن محمد ثابت فى مناط اسناده و يرى أحمد (فى الأرض) يذهب مبتعدا عنه و بذلك فإنه سيرى زمن أحمد يتباطأ فالنسبية لا تفضل أى شخص على الأخر فالكل على حق طالما أن مناط اسناده قصوريا . إذن ماذا سيحدث حقا عند العودة من سيصبح كلامه صحيحا.

هنا علينا أن ننتبه إلى شيء ما . محمد عليه أن يبطئ صاروخه فى نهاية الطريق ثم يلتف و يتسارع مرة أخرى فى اتجاه الأرض حسنا فمحمد سوف يغير سرعته و اتجاهه و بذلك فمناطه ليس قصوريا أبدا و لا يحق له أن يستخدم النسبية الخاصة للتنبؤ بما سيراه و بذلك فإنه عند العودة سيكون محمد شابا بينما يكون أحمد عجوزا.

لنتحاشى هذا التغير فى السرعة دعونا نقل أن محمد سيغير اتجاهه فى الأن بلا تباطؤ أو تسارع أى أنه سيعكس اتجاهه فى لا زمن (مستحيل نظريا و عمليا) فى هذه الحالة فإنه سيحدث الأتى.

أثناء رحلة الذهاب سيرى محمد زمن الأرض يسير ببطء أثناء القفز من مناط إسناد قصورى إلى أخر سوف يرى زمن الأرض يقفز قفزة هائلة للأمام أثناء العودة سيرى زمن الأرض يسير ببطء و لكن بسبب القفزة التى قفزها زمن الأرض عندما كان يغير اتجاهه فإنه سيجد أخيه أحمد أكبر منه سنا.

السبب فى قفزة الزمن ببساطة هو قفزة محمد من مناط إسناد إلى أخر مما أدى إلى تغير النقطة التى يتزامن معها محمد (نسبية التزامن) . لو لم تفهم سبب القفزة جيدا فلا تحزن و لا تحاول فهمها كثيرا فإن فهمها سيصبح سهلا جدا بعد شرح رسوم الزمكان فى الحلقات القادمة.

إنكماش الطول

سنأتى الأن لنتيجة أخرى و هى أن طول الأشياء ليس ثابتا بالنسبة لكل المناطات و المشاهدين ، لماذا؟

فى الواقع لكى نعرف لماذا و قبل أن أبدأ فى سرد الحسابات لنسأل أنفسنا سؤالا و هو : كيف نقيس الطول ؟

تعلمنا فى السابق كيف نصف الأحداث باحداثيات المكان و الزمان . لو كان لدينا قطارا يتحرك مبتعدا عنا على محور السينات فنحن نقيس طوله بتحديد موقع المقدمة و موقع المؤخرة ثم نطرحهم من بعضهم و نصل لطول القطار (لو المقدمة عند س = 5 و المؤخرة عند س=2 يصبح طول القطار 3 وحدات) . إذن يبدو أننا يجب أن نعرف موقع المقدمة و المؤخرة فى نفس الوقت أى أننا لن نقيس موقع المؤخرة ثم ننتظر حتى يبتعد القطار ثم نقيس موقع المقدمة ثم نطرحهم و نحصل على طول القطار . و لكن هل لاحظ أحدكم المشكلة ؟ المشكلة هى أن كلمة (فى نفس الوقت) لا معنى لها أى أن المشاهدين المختلفين سيروا مقاسات مختلفة.

الان لنقوم بتعريف الطول التام ، المشاهد الذى يقيس طول الجسم التام هو المشاهد الساكن بالنسبة للجسم (تذكر تعريف الزمن التام) فى أغلب الأحيان المشاهد الذى يقيس الزمن التام لا يقيس الطول التام و هذا ليس دائما.

لنقل أن هناك مشاهد ساكن على الأرض يقيس المسافة بين نجمين ساكنان بالنسبة للأرض . و هناك مشاهد يركب صاروخا و يسير من النجم الأول باتجاه النجم الثانى. السرعة النسبية بين المسافر والساكن هى V كلاهما يتفق عليها . الزمن اللازم للصاروخ لكى يذهب من النجم الأول للثانى بالنسبة للأرض هى المسافة (التامة) بين النجمين مقسومة على السرعة النسبيةV. التقاء المسافر بالنجم الأول و الثانى يحدثان فى نفس النقطة (عند الصاروخ) بالنسبة للمسافر و بذلك فهو يقيس الزمن التام بين الحدثين و بسبب ظاهرة تمدد الزمن فإن الزمن الذى يقيسه الساكن (عدد ثوانى أكثر (يرتبط بالزمن التام الذى يقيسه المتحرك بالعلاقة السابق ذكرها. وعلى هذا سيرى المسافر أن طول المسافة L كالآتى:

هكذا نرى أن الجسم ينكمش طوله عندما يتحرك بالنسبة للمشاهد فقد انكمشت المسافة بين النجمين بالنسبة للمسافر لأن المسافة تتحرك بالنسبة له.

دعونا نعود إلى تجربة الميونات الأن فالميون كان يقيس الزمن التام لحياته بينما الأرض تقيس المسافة التامة بين الحدثين . من الواضح أن هناك تفسير جيد للميون . فقد كان سؤالنا هو كيف سيفسر الميون قطعه لهذه المسافة الكبيرة التى قاسها الأرضيون رغم أنه مازال يرى زمن حياته كما هو . فى الواقع فإنه نتيجة انكماش الطول فإنه لن يرى الطول الذى قاسه الأرضيون بل سيراه أقصر ، نعم سيراه كما توقعه بالضبط و لا شيء غريب يحدث.

تذكروا دائما أن تمدد الزمن و انكماش الطول هى ظواهر متابدلة . لا يوجد مشاهد أفضل من الأخر. قد يؤدى هذا إلى عرقلتكم قليلا و لكننا سنوضحه جيدا فى الحلقات القادمة

القطار و النفق:

أحد التجارب التى تثار دائما حول انكماش الطول هى تجربة القطار والنفق ذو البابين ,تخيل أن قطارا طوله 10 أمتار ونفق طوله 9 أمتار . يسير القطار بسرعة 0.6 . c لدى النفق باب فى المقدمة وباب فى المؤخرة. يوجد مشاهد ساكن بالنسبة للنفق يستطيع بضغطة زر أن يغلق بابى النفقو يفتحهما معا.

هذا الساكن يرى القطار ينكمش طوله بحيث يصبح 8 متر . و بذلك فسيقوم بعمل شيئ طريف فعندما يدخل القطار بالكامل داخل النفق سيقوم بغلق البابين و فتحهما فورا و بذلك يكون قد أمسك بالقطار لحظيا داخل النفق (القطار لم يتوقف طبعا) . يمكنه فعل ذلك فالقطار طوله 8 متر بينما النفق طوله 9 متر .

ما رأيك هل هذا ممكن ؟

تصور ، إن هذا ممكن حقا . أتخيل الأن سماع صيحاتكم تهتفون " ما هذا ماذا عن مناط القطار ، إنه سيرى النفق أقصر" . هذا صحيح فالقطار يرى طوله كما هو 10 متر بينما يرى طول النفق و قد أصبح 7.1 متر.

كيف سيصبح بأكمله داخل النفق ؟

فى الواقع هو لن يصبح بأكمله داخل النفق أبدا و لكن اللعبة هنا هى نسبية التزامن فلقد غفلتم أن البابين متزامنان فى المناط الساكن فقط بينما فى مناط القطار فإن الباب الأمامى سيغلق و يفتح ثم يغلق الباب الخلفى و يفتح بعده . أى عند دخول القطار النفق و عندما يقترب من المقدمة سيرى الباب الأمامى يغلق ثم يفتح فتخرج مقدمة القطار من النفق ثم عندما تدخل مؤخرة القطار النفق سيغلق الباب الخلفى ثم يفتح بعد ذلك . (شرح مختلف و لكن نفس النتيجة (الساكن يمكنه فعلها بينما لا يتحطم القطار كلاهما يتفق على ذلك.

هكذا انتهينا من سرد أهم نتائج النسبية الخاصة و لكن ما زال هناك أشياء عديدة سنتطرق إليها المرات القادمة إن شاء الله.

المبحث السابع

الزمكان فى النسبية الخاصة (نظرة عامة)

فى الواقع فى النسبية لم يعد الزمان منفصلا عن المكان أبدا بل أصبح الزمان هو البعد الرابع بعد أبعاد المكان الثلاثة . و بذلك فقد أصبح تصورنا للكون الذى نعيش فيه هو أنه متصل رباعى الأبعاد يسمى الزمكان.

علينا أولا أن نعرف أنه عندما نرسم الزمكان و نتعامل معه هندسيا فإننا لن نرسمه رباعى الأبعاد – حتى فى أرقى الجامعات لا تتوافر صبورة رباعية الأبعاد – بل أنه اقصى ما يمكننا رسمه هو زمكان يتكون من بعدين مكانيين و بعد زمانى . فى الواقع من أجل التبسيط فسنتعامل مع عالم يتكون من بعد مكانى واحد و بعد زمانى . بينما تكون الأحداث فيه على شكل نقاط لكل منها إحداثيين واحد مكانى و الأخر زمانى.

حسنا و هكذا سيكون الخط العرضى هو x بينما الخط الطولى هو C t و هذه القيمة هى الزمن مضروب فى ثابت و هو سرعة الضوء هنا أما عن لماذا لم نجعله الزمن فقط و ضربناه فى سرعة الضوء فلا داعى للخوض فى هذا الموضوع الأن على العموم المهم فى الرسم البيانى هو مقياس الرسم و طالما ضربنا الأرقام كلها فى نفس الرقم الثابت فهذا لا يضر بصحة الرسم.

خط السير

الأن لكل كائن أو نقطة فى هذا العالم خط سير او world line هذا الخط يحدد سيرها فى الزمكان . فمثلا المشاهد الثابت فى مكانه سيكون خط سيره موازيا للخط الطولى أى أنه يسير فى الزمن فقط بلا تحركه فى المكان (لا تنسى أن كل مشاهد ثابت فى مناط اسناده) الأن لو أنه هناك مشاهد بدأ يتحرك مبتعدا عن المشاهد الثابت فى اتجاه اليمين فكيف سيكون خط سيره فى مناط اسناد الثابت ؟ و ماذا لو تحرك فى اتجاه اليسار ؟

الخط الأحمر يوضح خط سير المشاهد المتحرك لليمين ، و الأزرق يوضح خط سير المشاهد المتجه لليسار بينما الأسود الطولى هو خط سير المشاهد الثابت . لو لاحظتم ذلك فإنه كلما زادت سرعة الجسم كلما قطع مسافة أطول فى زمن أقل مما يعنى أن خط سيره سينحرف مبتعدا أكثر عن الخط الطولى حتى يصل الأمر إلى سرعة الضوء. فالخط الأصفر يوضح خط سير سرعة الضوء الذي يصنع زاوية 45 درجة مع الخط الطولى . تذكر أنه لا يمكن لجسم ما تجاوز سرعة الضوء أبدا أو حتى الوصول إليها . الخط الأحمر على اليمين هو خط سير مشاهد أخر أو جسم أخر انطلق بنفس سرعة المشاهد المسافر لليمين و فى نفس اتجاهه لكنه ابتدأ من نقطة بعيدة فى المكان . و بما أن له نفس السرعة فإنه ببساطة موازى للخط الأحمر الأول.

بهذا نكون انتهينا من الخط الأول المهم و هو خط السير. تذكر أن كل مشاهد ثابت فى مناط اسناده و حتى الأن نحن لم نقدم شكل مناط اسناد المشاهد المتحرك الذى نرسمه.

البعد المكانى:

الأن لكى تكتمل الصورة لا بد من تعريف الخط العرضى الذى نرسمه متعامدا على الإحداثى الزمنى . ببساطة هذا الخط هو الإحداثى المكانىأو مقياس المسافة . فى النفس الوقت يوجد وظيفة أخرى هامة لهذا الخط وهو أن جميع النقاط التى تقع على نفس الخط العرضى تحدث فى نفس الزمن أى متزامنة .

يتضح الأن أنه لا بد أن يكون هناك خط عرضى مختلف فى مناطات الاسناد المختلفة و إلا فقدنا نسبية التزامن وهى النتيجة الأساسية للنسية الخاصة.

الأن و بدون اثباتات رياضية أو ما شابه فإن الخط العرضى للمشاهد المتحرك فى اتجاه اليمين أو فى اتجاه اليسار يتم رسمه كالأتى:

واضح أن الخط العرضى ينحرف عن الخط العرضى للمشاهد الثابت بزاوية مساوية تماما للتى ينحرف بها الخط الطولى للمشاهد المتحرك عن الخط الطولى للمشاهد الساكن . و هكذا نكون قد رسمنا الزمكان بطريقةلا بأس بها واضح أنه بالنسبة للضوء ينطبق الخطين على بعضهما.

من الرسم السابق يتضح لنا أول شيئ يقدمه رسم الزمكان و هو أنه يعطى تخيلا جيدا عن ثبات سرعة الضوء فواضح أن النسبة ما بين الزاوية التى يصنعها خط سير الضوء مع الخط العرضى و الزاوية التى يصنعها مع الخط الطولى ثابتة لكل المشاهدين.

والآن لنستعرض بعض الأشياء التى يساعد رسم الزمكان فى فهمها.

تفسير الزمكان لتمدد الزمن

الآن سنأتى إلى واحدة من أهم النقاط الا و هى تمدد الزمن الذى وعدت بشرحه مرة أخرى فى صور جديدة.

و لنبدأ كلامنا بتجربة نظرية. لنقل أنك تسير بسرعة عالية منتظمة وعندما مررت بجانبى بدأ كلانا فى تشغيل ساعته . اعتبر أن سرعتك كانت تحدث تباطؤا فى الزمن بمقدار معين ألا و هو النصف أى أننى سأرى ساعتك دائما تقرأ نصف الوقت الذى تقرأه ساعتى .

هب أنه يمكننا أن نرى ساعات بعضنا البعض بأى وسيلة . الأن بعدما مرت ساعة على ساعتى (ساعتى تقرأ 60:00) سوف أنظر إلى ساعتك فلا بد و تبعا للنسبية أن أراها تقرأ 30:00 و لكن عندما تقرأ ساعتك هذه القرأة ستنظر أنت على ساعتى فمن المفروض تبعا للنسبية أن ترى ساعتى تقرأ 15:00 ، تعارض!!. السؤال هو عندما تقرأ ساعتك 30:00 فهل تقرأ ساعتى 60:00 كما أقول أنا أم تقرأ 15:00 كما تقول أنت ؟ ما هى قراءة ساعتى فعلا ؟!

ها قد ظهرنا بتحديا جيدا للنسبية و إذا فشلت فى تفسيره فستسقط النسبية فورا . لا بد انك تعتقد بوجود طريقة ما هنا للخروج من هذه الورطة . فعلا هناك شرح منطقى جدا و هو أنه لا يوجد أى تعارض فعندما تقول ساعتك 30 دقيقة فإن ساعتى تقول 60 فى مناطى بينما تقول 15 فى مناطك . اللعبة هى نسبية التزامن ففى مناطى يتزامن حدث قول ساعتك 30 دقيقة مع حدث قول ساعتى 60 دقيقة بينما فى مناطك فإن الحدث متزامن مع قول ساعتى 15دقيقة. و دعونا نتأمل هذا الرسم الجيد فعلا.

هل رأيتم كيف يكون تمدد الزمن متبادلا . لعلكم لاحظتم شيئا غير مرضى فى الرسم . عندما قارن المشاهد الساكن قراءات الساعات فى المرة الولى رسم خطا عرضيا ليعرف ما هى قراءة ساعة المسافر الآن فى مناطه. و لكنه وجدها أقل منه . الشيئ غير المرضى هو أن طول الخط الطولى للمسافر من الأصل حتى هذه النقطة أطول من طول الخط الطولى للساكن) لأنه خط مائل) فكيف يكون قيمة وقت المسافر أقل إذن . حسنا إنها إضافة منكوفسكى الجبارة هى التى جعلت من الخط المتعرج أطول من الخط المستقيم عكس ما تعودنا دائما . أما ما هى هذه الإضافة فسنتكلم عنها لاحقا بعد شرح تحويلات لورنتز.

مفارقة التوائم فى الزمكان :

بالطبع تمدد الزمن كما قلنا هو أعقد النقط من حيث التخيل . و ما زال هناك الكثير من التجارب النظرية لشرح هذه الظاهرة جيدا . و لكن لنعد إلى مفارقة التوائم.

فى مفارقة التوائم ، لماذا يظل الأخ المسافر شابا بينما يشيب الأرضى، ألا ينبغى أن يحدث العكس من وجهة نظر المسافر ؟ مع العلم ان النسبية لا تفضل أى مشاهد على الأخرالإجابة على هذا السؤال بسيطة جدا ولا تشكل أى تعارض للنسبية.

عندما ينطلق أحد الأخوين و ليكن أويبقى ب على الأرض . طوال رحلة أ ، سيرى ب أن وقت أ يسير ببطء وأنه عندما يعود سيكون أ أكثر شبابا .

من وجهة نظر أ ، ب هو الذى يتحرك و بذلك يجب أن يكون ب أكثر شبابا عند العودة. سنرى أن وجهة نظر ب هى التى ستحدث و ذلك لانه لكى يعود أ عليه أن يغير سرعته ليتباطأ ثم يلتف ثم يتسارع مرة أخرى و بذلك هو خارج حسابات النسبية الخاصة لأن مناط إسناده ليس قصورى.

و لكن دعنا نتفادى هذه النقطة و نقول أن أ قفز فجأة من سرعته (س) إلى (-س) بلا تباطؤ أو تسارع.

فى هذه الحالة لا يمكن ل أ ان يدعى أنه مازال ساكنا لأنه سيجد الأشياء معه فى السفينة تغيرت حالتها كما تفرمل السيارة فجأة.

سيرى أ فى هذه اللحظة زمن الأرض يقفز قفزة كبيرة و هذا بسبب أن فى مناط إسناد أ القديم كانت نقطة التفافه متزامنة مع نقطة ما حيث أخوه مازال شابا و لكن فى مناط إسناده الجديد تتزامن نقطة التفافه مع نقطة ما حيث أخوه عجوز. و هذا راجع لنسبية التزامن.

و كلما التف على بعد أكبر كانت القفزة فى زمن الأرض أكبر و بذلك مهما تباطأ زمن الأرض بالنسبة لـ أ فى رحلة الذهاب و العودة فإن القفزة فى زمن الأرض كافية لتحقيق تنبؤ النسبية الخاصة.

المبحث الثامن

(تحويلات جاليليو)

كما تعلمنا سابقا أن المشاهد يصف الأحداث بـ 3 إحداثيات مكانية وإحداثى زمنى . الأن لو لدينا مشاهدين يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض فكيف سيرى كل منهما الحدث . سنناقش الأمر أولا من وجهة نظر تحويلات جاليليو . لو كان لدينا مناط الاسناد الساكن S و يوجد مناط اسناد أخر يتحرك لليمين بالنسبة ل `S بسرعة v و وقع حدث ما عند النقطة P فوظيفة تحويلات جاليليو هى أنها تمكنك من إيجاد الإحداثيات التى يراها مشاهد ما كدوال فى الاحداثيات التى يراها المشاهد الأخر و تتلخص تحويلات جاليليو هكذا"

$X` = X - vt$

$Y` = Y$

$Z` = Z$

$t` = t$

و لكننا نحب دائما أن نتعامل مع فروق بين حدثين كالمسافة بينهما أو الفارق الزمنى بينهما و ببساطة لو اعتبرنا أن هناك حدثين عند النقط P ,Q فإن تحويلات جاليليو تعمل أيضا و قوموا بتجربة ذلك عن طريق طرح احداثيات الحدث عند النقطة p من احداثيات الحدث عند النقطة Q و سنجد أن صورة تحويلات جاليليو:

$dX` = dX - vdt$

$dZ` = dZdt` = dt\ dY` = dY$

= dدلتا)أى الفارق (

هذه التحويلات تقول أن كلا المشاهدين يقيس فارق زمنى واحد بين الأحداث كما أنها تقول أنه عندما يكون الفارق الزمنى بينهما صفرا يقيس كلا المشاهدين نفس المسافة بين الحدثين . لنجد هنا أن تحويلات جاليليو تناقد أهم نتيجتين للنسبية و هما تمدد الزمن وانكماش الطول . من هنا كان لا بد لنا من البحث عن معادلات أخرى تفى بالغرض دون التعارض مع النسبية ومن هنا كان اللجوء لتحويلات لورنتز التى وضعها هندريك لورنتز قبل النسبية فى الكهرباء والمغناطيسية ولكن أينشتين هو من استخدمها فى النسبية و قام بوضع معنى فيزيائى لها كما أنه خلصها من اعتمادها على الأثير بجعلها تعتمد على السرعة النسبية بين المشاهدين.

فى الواقع لم تكن تلك هى السلسلة التاريخية للأحداث فانكماش الطول وتمدد الزمن و معادلاتهم هى نتائج لتحويلات لورنتز و ليست أسباب لها .

ولكن بما أننا استنتجناالمعادلات السابقة من دون هذه التحويلات فلا يوجد مانع من السير بهذا الترتيب حيث أنه أبسط و أسهل لأنه فى الحقيقة اثبات تحويلات لورنتز من العدم أى من مبدأى النسبية الخاصة صعب و طويل . و لكننا سنضع اثباتا سهلا اعتمادا على ما قمنا به فى الحلقات السابقة

(تحويلات لورنتز)

سنضع نفس الافتراضات التى وضعناها سابقا و هى أن لدينا مناطى اسناد يتحركان بالنسبة لبعضهما واحد ساكن و الأخر يتحرك باتجاه اليمين متوازى للأول . بالنسبة للبعدين Y,Z فلن يحدث شيئا لأن انكماش الطول يحدث فقط فى اتجاه الحركة . و الأن سنبدأ باستنتاج تحويلات لورنتز . لن أقوم بكتابة علامة (دلتا) أو (d) و لكن اعلموا أننا دائما نتحدث عن فوارق. احداثيات الساكن ستكون بدون شرطة والمتحرك بشرطة. والأن لا بد لمعادلاتنا أن تكون لها الصورة الأتية :

$t = C t` + D x \quad x = Ax` + B t`$

`حيث A,B,C,D ثوابت تعتمد على السرعة النسبية . و بايجاد قيمة هذه الثوابت سوف نحصل على تحويلات لورنتز .

ملحوظة:

فى هذه المعادلات أعلاه قمنا بافتراض فرضين وهما :

أن هذه الدوال (المعادلات أو العلاقات) خطية أى معادلات من الدرجة الأولى.

أن الثوابت تعتمد فقط على السرعة النسبية وتتغير بتغيرها ولا تعتمد على أية إحداثيات.

لا داعى للخوض فى اثبات هذين الفرضين . إن اثباتهم قصير و لكن ربما لن تفهموه جيدا فلا داعى للتشتيت الأن.

والأن فلنقم باستنتاج القانون :

عندما يرى المشاهد المتحرك المسافة بين حدثين صفرا فهو يقيس الزمن التام وسنحصل على الزمن الذى يقيسه الساكن بمعادلة تمدد الزمن.

عندما يقيس الساكن الزمن بين حدثين صفرا فهو يقيس المسافة التامة (الأطول) بينهم و يمكننا أن نحصل على ما يشاهده المتحرك بمعادلة انكماش الطول.

عندما يرى الساكن حدثين يحدثان فى نفس النقطة فلا شك أنه فى الزمن بين الحدثين سيكون المتحرك قد ابتعد لمسافة ما و بذلك فسيقول أن الحدث الثانى حدث فى نقطة أبعد عن الحدث الأول بمسافة تساوى السرعة النسبية بين المناطين مضروبة فى الزمن بين الحدثين كما يقيسه المتحرك (الساكن يقول أن المتحرك يتحرك لليمين بالسرعة Vو المتحرك يقول أن الساكن وكل ما فى مناطه يتحرك لليسار بالسرعةV-)

إذا كان الساكن يرى حدثين متزامنين فالتأكيد كما وضحنا سابقا أن المتحرك سيرى أن هناك فترة زمنية بين الحدثين هذه الفترة يمكن استنتاجها وستساوى القيمة المكتوبة فى الجدول أعلاه.

وبهذه الطريقة وبالتعويض فى المعادلات بالأعلى سنستنتج أن هذه الثوابت هى: وهكذا نصل إلى صورة المعادلات التى تربط بين ما يراه الساكان اعتمادا على ما يراه المتحرك . إذا أردنا أن نحصل على المعادلات العكسية فلا مشكلة، كل ما علينا هو أن نعكس إشارة السرعة النسبية

لعلكم تتسألون كيف يكون استنتاج هذه التحويلات بهذه السرعة و البساطة .

الإجابة هى أننا قمنا بمعظم العمل فى الحلقات السابقة و لكننا لو أردنا استنتاج قانون لورنتز ابتداء من فرضيات النسبية فقط فسوف يكون أطول و أصعب بالتأكيد.

تحويلات لورنتز للسرع:

مع تغير مفاهيم الزمان و المكان و اختلافهما بالنسبة للمشاهدين لم يعد من الممكن الاحتفاظ بقانون جمع السرع الكلاسيكى الذى يعرفه الجميع وأصح لا بد من وجود قانون أخر لجمع السرع يمكن منه التنبؤ بسرعة جسيم ما بالنسبة للمشاهد المتحرك اعتمادا على السرعة التى يقيسها الساكن للجسيم و العكس صحيح . فكما يعرف الجميع أن السرعة تساوى معدل تغير المسافة مع الزمن . و بما أن المسافة لها 3 أبعاد فكذلك السرعة لها 3 مركبات و هم السرعة فى الاتجاه الطولى X

و السرعة فى الاتجاهين الأخرين Y و Z . و سرعة أى جسيم ستتكون من هذه المركبات الثلاثة . من المعروف أن الاختلاف على المسافة يكون فى اتجاه الحركة فقط و بذلك فسيؤثر على السرعة فى اتجاه الحركة فقط و لكن لا تنسى أن الزمن يتغير فى كل الاتجاهات و بذلك فسوف نستنتج ثلاث قوانين . يعتمد الاستنتاج على مفاضلة `X و `t بالنسبة ل t ثم نقسمهم على بعضهم فنحصل على `dx`/dt و هذا هو تعريف السرعة و بذلك نحصل على قانون السرعة. نفس الأمر فى الاتجاهين الأخرين . الاستنتاج كالأتى بنفس الطريقة نحصل على المركبين الأخرين للسرعة.

الفاصل الزمكانى (القيمة الثابتة):

صدق أو لا تصدق . أخيرا وجدنا قيما ثابتة يتفق عليها جميع المشاهدين ألا و هى الفاصل الزمكانى بين حدثين . نرمز للفاصل هذا بالرمز (ds) و ال dكما نعلم هى ترمز للتغير . فى زمكان رباعى الأبعاد يتم حساب الفاصل بهذه الطريقة:

(ds)2 = (dx)2+(dy)2+(dz)2-(c dt)2 بالنسبة للساكن = (ds`)2

(dx`)2+(dy`)2+(dz`)2-(c dt`)2بالنسبة للمتحرك

هذه القيمة ثابتة بالنسبة للساكن والمتحرك (كل منهما حر فى اعتبار نفسه ساكن). أى أن ds = ds`

المثير فعلا أن تحويلات لورنتز تقودنا لهذه النتيجة فلو أنك عوضت عن القيم التى يراها المتحرك بتحويلات لورنتز فستصل فى النهاية إلى أن القيمتين متساويتين.

ملحوظة : بعض الكتب بدلا من أن تطرح مربع الزمان من مربع الأبعاد المكانية تقوم بعمل العكس . على العموم لا فرق بينهما .

ملحوظة : نحن سنتجاهل y و .Z لأننا كما قلنا لا نلاحظ شيئا غريبا بصددهما .

أنواع الفاصل

قبل أن نناقش أنواع الفاصل علينا أن نتذكر ما قلناه عن الزمكان . تذكر أن الزمكان متصل رباعى الأبعاد كل نقطة فيه تمثل حدث . هذا الحدث يتم وصفه بأربع إحداثيات ثلاث منها مكانية والأخر زمانى.

الأن حان الوقت أن نعلم لماذا فقد الزمان استقلاله وهذا واضح من المعادلة الخاصة بتحويلات الزمن فى معادلات لورنتز بالأعلى حيث أننا وضعنا الزمن كدالة فى إحداثيات الزمان و المكان و بهذا أصبح الزمن أيضا يعتمد على المسافة بين الأحداث . بهذه الطريقة لم يعد الزمن مستقلا . و قد قام منكوفسكى بالتمثيل الرياضى لهذه الحقيقة بجعل الإحداثى الزمنى هو ict حيث :

الجذر التربيعى ل -i1 =

سرعة الضوءc =

الزمن يساوىt =

وسيتم شرح هذه الحقيقة الرياضية و تأثيرها فيما بعد ,الأن نأتى لأنواع الفاصل و هى ثلاث أنواع حسب إشارة قيمة الفاصل S سالبة أو موجبة أو صفر . أو بمعنى أخر الثلاث أنواع هم:

فاصل مكانى (المسافة المكانية أطول من المسافة القادر على قطعها الضوء فى الفارق الزمنى و بذلك فالقيمة موجبة)

فاصل زمانى (المسافة الزمانية أقصر من المسافة القادر على قطعها الضوء فى الفارق الزمنى و بذلك فالقيمة سالبة)

فاصل صفرى (كلاهما متساويين و بذلك فالنتيجة صفر)

فى الشكل القادم سنستعرض المعنى الهندسى للفاصل الزمكانى

الخطوط الصفراء تمثل مسار أشعة الضوء. الخطان الصفر المتجهان للأعلى هما شعاعان ضوئيان انطلقا من عند نقطة الأصل بينما الخطان القادمان من أسفل هما شعاعان قادمان من الماضى ومتجهان لنقطة الأصل . تخيل أن هناك حدث معين يحدث عند نقطة الأصل. الخطوط الحمراء تربط هذا الحدث بأحداث أخرى الفاصل بينها و بين الحدث عند نقطة الأصل زمانيا.

على العكس تربط الخطوط الزرقاء بين هذا الحدث و أحداث أخرى تبعد عنه بفاصل مكانى. النقطة على شعاع الضوء تبعد عن الحدث عند نقطة الأصل بفاصل صفرى.

طبعا أنتم تعرفون أن النقاط أسفل المحور العرضى تعتبر فى ماضى هذا الحدث بينما تلك التى فوق المحور العرضى هى فى مستقبل الحدث.

من هذا التوضيح يتضح لنا أنه لكى تسافر من نقطتان الفاصل بينهما:

مكانيا : عليك أن تسير أسرع من الضوء (غير ممكن)

زمانيا : عليك أن تسير أبطأ من الضوء (ممكن)

صفريا : عليك أن تسير بنفس سرعة الضوء (الموجات الكهرومغناطيسية فقط يمكنها ذلك)

حسنا هنا نصل إلى نقطة مهمة و هى أن الأحداث المفصولة مكانيا لا يمكن أن تؤثر فى بعضها البعض بينما تلك المفصولة زمانيا أو صفريا يمكنها أن تتأثر ببعضها البعض و هنا ظهر لدينا مفهوم جديد وهو المخروط الضوئى.

لاحظ أن أشعة الضوء فى الشكل تكون شكلين مخروطين واحد فوق المحور العرضى و الأخر أسفله . هذين المخروطين يضمان داخلهما كل النقاط المفصولة زمانيا عن نقطة الأصل (النقطة التى يلتقى فيها المخروطين) و يقع على حوافهما النقاط المفصولة صفريا عن نقطة الأصل بينما تقع خارجهما كل النقاط المفصولة مكانيا عن نقطة الأصل. ولقد أطلقنا على كل مخروط منهما اسما:

مخروط الماضى : ذلك الذى يقع أسفل المحور العرضى و يضم داخله كل الأحداث التى يمكنها أن تؤثر فى الحدث عند نقطة الأصل (أو ممكن أن يكون قد جاء منها مشاهدايقف عند نقطة الأصل)

مخروط المستقبل : ذلك الذى يقع فوق المحور العرضى ويضم داخله جميع النقاط التى يمكنها أن تتأثر بالحدث عند نقطة الأصل (أو يمكن أن يصل إليها مشاهد يقف عند نقطة الأصل)

بالطبع هذا الكلام ليس حكرا على نقطة الأصل بل إن كل مشاهد لديه هذين المخروطين يتحركان معه دائما. و يشكلان مستقبله و ماضيه.

النسبية و السببية:

عندما تناولنا نسبية التزامن تكلمنا عن كيفية اختلاف ترتيب الأحداث بالنسبة للمشاهدين المختلفين و بذلك أصبح لا معنى لكلمة قبل و بعد و لكن لعل أحدكم لاحظ ماذا يمكن أن ينتج عن هذا الفرض.

تخيلوا معى أنك ترمى سهما ليسقط تفاحة . نحن هنا لدينا حدثين وهما رمى السهم وسقوط التفاحة . يبدو هنا أن رمى السهم كان سببا وسقوط التفاحة هو نتيجة . السببية تقول أن السبب لا بد أن يكون قبل النتيجة أى أنه لا بد من رمى السهم لكى تسقط التفاحة وهذا كلام منطقى ولا بد أن يكون صحيحا.

ولكننا قلنا أنه لا معنى لترتيب الأحداث فإنه يختلف من مناط لآخر. يا لها من ورطة! حل هذه الورطة يكمن فى أنه لا يمكن لأى مشاهد أن يسير بأسرع من الضوء كما أنه لا يمكن أن يتأثر حدث بأخر بأى وسيلة أسرع من الضوء. وبهذا فإنه لا بد أن رمى السهم وسقوط التفاحة مفصولان فاصلا زمانيا . وتلك هى النقطة : جميع المشاهدين يتفقون على ترتيب الأحداث المفصولة زمانيا مهما كانت حالتهم من الحركة ، لاحظ أن الفترة بين الحدثين تختلف من مشاهد لأخر ولكن جميعهم يتفق على أن السبب حدث قبل النتيجة . وهذا ينتج عن أنه لا يوجد مشاهد منهم يتحرك أسرع من الضوء . ولهذا كان السير أسرع من الضوء غير ممكن . لأننا لو سرنا أسرع من الضوء لرأينا تفاحات تسقط قبل رمى السهم و رسالات تصل قبل أن تُرسَل و ما إلى ذلك .

هكذا تظهر أهمية فرضيات منكوفسكى. عند هذه النقطة نكون قد أنهينا جزئا كبيرا جدا من النسبية الخاصة والباقى يقع تحت اسم ديناميك النسبية . وهذا الجزء يعتبر رياضيا أكثر وبذلك فإن الجزء السابق هو الأهم ولذلك أنصح بقرائته جيدا . بالطبع لن نستغرق وقتا طويلا فى النسبية العامة أو الكم لأننا لن نتوسع فيهما . بعد ختام هذا الجزء سوف نقدم ميكانيك الكم، وستكون بلا أى رياضيات ولن نتوسع فيها لأن التوسع فيها يحتاج إلى رياضيات عالية المستوى.

المبحث التاسع:

ميكانيك الكم

معلومات جديدة عن الضوء

الوصف الناجح للضوء كموجة كهرومغناطيسية كان أحد انجازات الفيزياء الكلاسيكية ، بنظرية واحدة بسيطة يمكنك أن تشرح العديد من خواص الضوء و أشعة اكس و موجات الراديو ....إلخ و لكن مع بداية القرن الجديد ظهرت تجارب جديدة بل و مشكلات نظرية أيضا لا يمكن تفسيرها ، لشرح هذه التجارب بالكامل سنأخذ ورقة أو اثنتين مثل هذه ولذلك سنناقش نتائجهم فقط.

فى 1905 وضع أينشتين فرضية جديدة تمكنت من تفسير هذه المشكلات مثل "التأثير الكهروضوئى" بل و التنبؤ بأشياء جديدة و كل هذه النتائج أثبتها عمليا روبرت ميليكان (لقد حصل أينشتين على جائزة نوبل بسبب هذه الفرضية و ليس بسبب النسبية)

الفرضية هى أن الضوء يمكن أن يعتبر كجسيمات . شعاع الضوء عبارة عن جسيمات متفرقة سماها أينشتين "فوتونات".

لو أنك فتحت مصباحا لمدة دقيقة ثم أغلقته يمكنك القول أنك أطلقت العدد س من الفوتونات). عمليا هذا العدد كبير جدا لا يمكنك عده!) أينشتين تمكن بهذه الفرضية من شرحالتأثير الكهروضوئى و كل المشاكل الأخرى بالاضافة الى شرح النتائج القديمة بطريقة جديدة.

و لكن هذه الفرضية تضعنا فى مأزق . فتجربة يونج أثبتت أن الضوء موجة لأن يظهر نمط التداخل الذى لا تتمكن الجسيمات مثل الكرات الصغيرة من اظهاره . قبل أينشتين بكثير كانت تلك التجربة حجة كافية لرفض فكرة أن الضوء مكون من جسيمات.

الأن لدينا دليل تجريبى على أن الضوء موجة "تجربة يونج" و دليل أخر على أن الضوء جسيمات "التأثير الكهروضوئى" . يمكنك أن تعتقد أن حل المشكلة هو أن الضوءموجة مكونة من جسيمات مثل موجات المياه مثلا، ولكن هذا الشرح لن يعمل كما سنشرح لاحقا . يمكنك أيضا أن تعترض لأننا لم نشرح أى دليل على النظرية الجسيمية للضوء لأننا لم نشرح التأثير الكهروضوئى مثلا . و لكننا سنقوم بعمل ما هو أفضل .

سنستخدم تجربة يونج لاثبات الطبيعة الجسيمية للضوء . و لاظهار التعارضات الناتجة عن شرح الضوء كموجة وجسيمات ووسط هذه التعارضات ستظهر ميكانيكا الكم لحل هذه المشكلات كلها.

تجربة الفتحتين مرة أخرى:

معظم الناس عندما يقرأون نظريات الكم لا يفهمونها أو لا يصدقونها أو الأمرين معا . لذلك سنبدأ بالتجارب قبل النظريات.

فى هذا الجزء سنعيد تجربة يونج باختلاف بسيط . استخدم مصدر ضوء خافت جدا جدا جدا . و بدلا من الحائط الأسود ضع سطح فوتوغرافى متصل بكمبيوتر . عند اجراء التجربة سيرتطم بالسطح كمية ضئيلة جدا من الضوء و لكن الكمبيوتر سيخبرك أين و متى ارتطم الضوء . و مع الوقت سيصبح السطح الفوتوغرافى مسجل لكل الضوء الذى ارتطم به.

النظرية القديمة تؤكد لك أن ما ستراه هو ضوء يرتطم بالسطح فى أعمدة معينة فى نفس الوقت لاظهار نمط التداخل المعروف . و لكن ماذا وجدنا فعلا ؟؟

لقد وجدنا أن كمية من الضوء ترتطم بالسطح فى نقطة معينة عند زمن معين . لا ترتطم كميتان فى نفس الوقت بل أن الضوء يرتطم فى كميات متفرقة فيصنع بقعة هنا وبقعة هناك بفارق زمنى ضئيل و لكن مقاس بينهم و النمط المعروف يظهر بعد ارتطام عدد كبير من كميات الضوء .

هذه النتيجة تبدو مفزعة فى ضوء النظرية الموجية و لكن فى نظريتنا الجديدة هذا يبدو طبيعى . فالضوء ينطلق كجسيمات متفرقة (فوتونات لا تنقسم (الواحد تلو الأخر و يرتطم الواحد تلو الأخر ليرسم فى النهاية النمط المعروفللتداخل. و لكن كما حذرنا سابقا فالتبعيات ستكون عجيبة لو نظرت بدقة أكثر.

لنبدأ بتجربة الفتحة الواحدة، انت تطلق فوتون واحد فيعبر الفتحة و يرتطم بالشاشة دون ترك نمط معين، فقط بقعة صغيرة. بعد الكثير من الفوتونات يبدأ النمط المألوف للتجربة فى الظهور. عمود مضئ فى الوسط (حيث ارتطم الكثير من الفوتونات) يصبح أقل اضائة كلما اتجهت للأطراف (حيث ارتطم القليل من الفوتونات .(إذن فالفوتونات تصرفت كجسيمات وأعطت نفس نتيجة التجربة مع الكرات الصغيرة. و لكننا نعلم أن تجربة الفتحة الواحدة تعطى نفس النتيجة مع الجسيمات و الموجات فبذلك نحن لم نستفد كثيرا هنا.

الجزء المثير يبدأ هنا،عندما نأتى لتجربة الفتحتين. مرة أخرى نرى فوتونا يرتطم فى بقعة معينة و فوتونا فى بقعة أخرى و بعد العديد من الفوتونات يبدأ النمط فى الظهور. و لكن هل هو "نمط الجسيمات" مثل الكرات أم "نمط الموجات" ؟ الاجابة هى : نمط الموجات. أعمدة مضيئة (حيث ارتطم الكثير من الفوتونات (بينها أعمدة مظلمة (حيث ارتطم القليل من الفوتونات). هذه النتيجة كانت لا بد أن تحدث لأن الفوتونات هى الضوء وهذه التجربة هى نفس التجربة القديمة فقط أبطأ (مصدر ضوئى ضعيف).

ولكن يوجد مشكلة نظرية عويصة هنا ربما تكون لاحظتها. لماذا لدينا أعمدة مظلمة؟ التفسير قديما كان أنه فى هذه النقاط يتداخل الضوء القادم من احدى الفتحتين مع الضوء القادم من الفتحة أخرى فيلغيا بعضهما هنا. هذا كان منطقيا لأن الضوء كان يتدفق باستمرار عبر الفتحتين فى النظرية الموجية. و لكن فى حالتنا لدينا فوتون واحد تلو الأخر ، كل فوتون يعر من فتحة فمع ماذا يتداخل اذا كان فى وقت عبوره من الفتحة لم يكن يعبر أى شيئ من الفتحة الأخرى.[لهذه النتيجة لا يمكننا اعتبار الضوء كموجات المياه . الموجات تعطى نمط التداخل لأن جزئا منها (الذى عبر من الفتحة الأولى) يتداخل مع الجزء الأخر(الذى عبر من الفتحة الثانية) لو قمت بعمل التجربة باعتبار اطلاق جسيم واحد فى المرة فلن يكون هناك شيئا ليتداخل معه.

من فضلك توقف للحظة ، فنحن الأن فى أهم نقطة. كل شيئ يعتمد على احساسك بلا منطقية ظهور نمط التداخل مع الضوء فى ظل اعترافنا بطبيعته الجسيمية. لتفهم الأمر جيدا قم بالوقوف أمام الحائط فى تجربة الفتحة الواحدة. العديد من الفوتونات لا يعبر من الفتحة و لكن كل مدة يعبر فوتونا و يرتطم بالحائط. سيرتطم بعض منهم بوجهك مباشرة.

الأن، يأتى شخصا أخر ويفتح فتحة أخرى فى الساتر. لا شيئ أخر تغير. ولكنك فجأة بدأت تشعر بأنه لا يرتطم بك فوتونات قادمة من أى الفتحتين. لقد كنت واقفا فى منطقة عمود مظلم. لم يكن مظلما عندما كان هناك فتحة واحدة و لكنه أظلم عند عمل فتحة أخرى.

لماذا لا يرتطم بك أى فوتون؟ فهل توقفت الفوتونات عن عبور الفتحة كليا بسبب عمل فتحة أخرى؟ أم مازال هناك فوتونات تعبر ولكنهم لا يأتون عندك فقط بسبب عمل فتحة أخرى؟ التفسيرين ليسا منطقيان ولكن لا بد أن يكون أحدهما صحيح.

بدلا من محاولة تفسير الموضوع نظريا فلنلجأ لتجربة. لنضع جهاز قياس على الفتحات ليعرف من أى الفتحتين عبر الفوتون. بهذه الطريقة سنعرف اذا كان عمل فتحة جديدة قد تسبب فى تقليل مرور الفوتونات عبر الفتحة الأولى أم قام بتغيير اتجاه الفوتونات العابرة من الفتحة الأولى. ماذا وجدنا؟؟ لقد ظهر شيئا غير متوقع على الاطلاق. نمط التداخل الموجى اختفى. بدلا منه، يظهر نمط الجسيمات الذى ظهر فى تجربة الكرات - عمودين من الضوء تقل اضائتهما كلما اتجهنا للأطراف. لا أعمدة مظلمة. لا يهم كيف نقوم بالقياس، النتيجة دائما واحدة :" عندما لا نعرف من أى الفتحتين يعبر الفوتون، نرى نمط التداخل الموجى.

عندما نعرف من أى الفتحتين عبر الفوتون، لا نمط تداخل. سنناقش هذه النتيجة بالتفصيل فيما بعد. و لكن الأن يجب أن نؤكد أن هذه ليست نظرية إنما حقيقة تجريبية تم تأكيدها عدة مرات. يبدو منطقيا أو لا : قياس طريق الفوتون يؤدى إلى تغيير ما يفعله الفوتون.

ربما عليك أخذ بعض الوقت للفهم ربما يمكن أن تقرأ هذه النقطة مرة أخرى. فقط عليك التأكد من أن هذه النتائج حقيقة، هل تفهم لماذا تبدو غير منطقية؟ هل يمكنك تفسيرها؟

التطلع إلى نظرية جديدة:

الفيزيائيين التجريبيين يقومون بالتجارب و يكتبون النتائج. بما أنه ليس فى وسعنا تكرار التجارب (إلا إذا كنت تملك هذه الأدوات فى منزلك) فعلينا أن نكون الفيزيائيين النظريين - نقبل النتائج، و نبحث عن تفسير.

لا بد أن نكون حذرين الأن. نحن لدينا نتائج عجيبة، و لتفسيرها سنحتاج لأفكار غريبة.

قبل أن نبدأ فى وضع النظرية فلنقم بوضع ملاحظاتنا عن التجارب السابقة:

أول ملاحظة هى أنه فيما عدا إذا حاولنا وضع أجهزة القياس فإن نتيجة التجربة التى أطلقنا فيها فوتونا تلو الأخر تبدو مطابقة للتجربة القديمة للضوء. و هكذا نضع "مبدأ التكافؤ" و الذى يقول أنك لو أخذت مجموعة من الفوتونات و قررت متابعة تصرفهم كمجموعة واحدة وليس كل على حدة فإنك ستجدهم يتصرفون كالضوء تماما.

و هذا ليس عجيبا فهذه المجموعة أصلا ضوء. بمعنى أخر فإن مبدأ التكافؤ يؤكد أن الفيزياء الكلاسيكية جيدة و تعطى توقعات صحيحة طالما أنك لا تنظر للأمور بالتفصيل أى أنها ستتوقع تصرفات الضوء(مجموعة كبيرة من الفوتونات) و لكن لن تعرف كيف يتصرف كل فوتونا منهم.

ملاحظة أخرى عندما أجرينا تجربة الكرات الصغيرة اضطررنا إلى رج المدفع الذى يطلقهم لكى لا تذهب كل الكرات لنفس النقطة . ولكن فى حالة الفوتونات لم نقم بعمل أى شيئ. مصدر الضوء يقوم بعمل نفس الشيئ دائما و مع ذلك فالفوتونات تذهب لأماكن متفرقة. بالطبع لن يذهبوا كلهم إلى نفس النقطة و إلا لما تصرفوا كالضوء ولما لاحظنا نمط التداخل. هذا يدفعنا دفعا إلى أحد مبادئ الكم الأكثر تأريقا : يمكنك أن تجعل البدايات دائما ثابتة و لكنك ستحصل على نتائج مختلفة. بمعنى أخر يوجد عشوائية حقيقية فى الكون. يمكنك احصائيا أن تتوقع إلى أين سيذهب الفوتون فى الغالب (بالاعتماد على النمط الظاهر أمامك)، و ليس إلى أين سيذهب الفوتون بالضبط. ربما تشكك فيما إذا كانت البدايات فعلا ثابتة فى كل مرة .ربما هناك شيئا مختلفا فى الفوتونات يجعلها تذهب لأماكن مختلفة على الرغم من أن مصدر الضوء يفعل الشيئ نفسه كل مرة بالنسبة لقياستنا (أى أنه يوجد اختلاف لا يمكن قياسه يؤدى لنتائج المختلفة) .

هذا النوع يسمى نظريات "المتغير الخفى" التى تقول أنه هناك خصائص خفية فى البدايات تحدد مسار الفوتون لا يمكننا قياسها و بذلك تبدو البدايات كأنها ثابتة بالنسبة لنا و لكنها ليست كذلك. بينما تبدو هذه الفكرة جيدة فإن معظم الفيزيائيين يرفضونها لأنها لا تقدم حلولا و شروحا لبعض المواقف و أن ميكانيك الكم فعلا تتطلب مبدأ العشوائية الحقيقية.

لو أنك فهمت هذين المبدأين - التكافؤ و العشوائية- يمكن أن تبدأ فى تجميع الأمور. تخيل لو رميت قطعة نرد. قطعة نرد واحدة لا يمكن توقع ما تظهره.ربما 1 أو 6 أو 3، من يعلم؟ و لكنك لو رميت مليون قطعة فإنك يمكنك أن تتأكد من أنك لو حسبت متوسط الأرقام التى ستظهر) جمعتهم وقسمتهم على مليون) فسيكون المتوسط 3.5 (و هو متوسط الأرقام الموجودة على الزهر). هكذا يقول مبدأ التكافؤ أن الفيزياء الكلاسيكية نجحت لأنها كانت تتعامل مع خصائص مجموعات كبيرة من الأشياء (فوتونات ، نرد) وتضع توقعات صحيحة. ولكن هذه القواعد لا تسرى على كل جسيم منفردا الذى يمكن أن يتبع قواعد مختلفة.

فى النفس الوقت علينا أن نؤكد مرة أخرى، مثال النرد هو للتبسيط فإنه يوجد فروق جوهرية ين عشوائية النرد و عشوائية الفوتون. رمى النرد ليس فعلا عشوائيا، فلو إنك علمت كل شيئ عن وزن النرد و توزيع الوزن و زاوية اطلاقها... إلخ فإنه يمكنك التنبؤ جيدا بمسارها والرقم الذى سيظهر. أما مع الفوتون فلا يهم قدر ما تعرف عن الأوضاع البدائية : لأنه حتى فى وجود بدايات ثابتة تحدث نتائج مختلفة. (بالطبع النرد مكونة من ملايين الجسيمات الصغيرة التى تتبع عشوائية الكم و لكن لأنهم بالملايين فيمكن للقوانين الكلاسيكية التنبؤ بالتصرف العام لقطعة النرد)

حسنا، لنعد مرة أخرى لتجاربنا، ما هى الملحوظات الأخرى؟ أحد الأشياء الأكثر غرابة هى أنه عمل فتحة ثانية أحدث تغييرا فى الفوتونات التى تخرج من الفتحة الأولى. يبدو أنه من المستحيل أن نتجنب فرض أنه عندما يعبر الفوتون من الفتحة الأولى فإن شيئا ما يعبر من الفتحة الثانية ويتداخل معه. فى الواقع طالما أننا نحصل على نمط تداخل موجى ، فإنه من المنطقى أن موجة ما تعبر من الفتحتين و تتداخل مع نفسها. و لكن أى موجة؟ لا يمكن أن تكون موجة الضوء - لقد أطلقنا فوتونا واحدا وهو لا يمكنه أن ينقسم ليعبر من الفتحتين. لو أن الفوتون كان يسير باستمرار من الفتحتين (التصور القديم للضوء) لكان له أن يرتطم بعدة نقاط على الحائط فى نفس الوقت . و لكن بما أننا فى تجربتنا مستخدمين اللوح الفوتوغرافى لاحظنا ارتطاما بنقطة واحدة فى الوقت الواحد

فإنه يبدو أنه يوجد نوع أخر من الموجات يتدخل هنا. نوع يعبر من الفتحتين عندما يكون هناك فوتونا واحدا يعبر من فتحة واحدة.

أخيرا، ملاحظة أخيرة وهى : عندما تقيس من أى فتحة يعبر الفوتون فإن النتيجة تتغير. يمكنك أن تقيس بالعديد من الطرق و سيظل نمط التداخل مختفيا طالما أنك تحاول أن تقيس من أى فتحة يعبر الفوتون. "القياس يؤثر على النتيجة"

هذه النقطة مهمة و تخالف منطقنا العام عن العالم. فى الفيزياء الكلاسيكية من المفترض أن تحدث الأشياء بنفس الطريقة سواء نظرت لها أو لا. بالطبع يمكنك أن تعطل ما تقيسه لو استخدمت وسيلة غير مناسبة كاستخدام عصا لتحديد موقع كرة البينج بونج أثناء حركتها مثلا. ولكنك لو كنت معتنيا كفاية فبامكانك قياس الأشياء دون التأثير عليها كقياس سرعة السيارة بالرادار. فى تجربتنا فإنه لا يوجد طريقة نظيفة للقياس أولابعاد الشخص عن التجربة فمجرد حقيقة ارادتك لاجراء القياس فإن نمط التداخل يختفى.

النظرية النهائية : تفسير كوبنهاجن

اجلس الأن و استرخى قليلا. أين نحن؟ لقد ناقشنا نتائج 3 تجارب باطلاق فوتون تلو الأخر . فتحة واحدة ثم فتحتان ثم فتحتان مع وضع جهاز القياس. و لقد وضعنا بعض الملحوظات عنهم لنفهمهم جيدا . و الأن حان وقت وضع كل الأمور معا فى نظرية كاملة تشرح كل هذا.

تفسير كوبنهاجن الذى وضعه نيلز بور هو أفضل النظريات الموجودة. يوجد عدة تفسيرات أخرى كلها مشابهة تماما له من الناحية العلمية ولكن هو أفضلهم هنا للشرح. لقد اتفقنا توا أنه يوجد نوع أخر من الموجات هنا. لا يمكننا أن نعرف بالضبط ما هى و لكن يمكننا عمل خطوة أخرى و هى اعطائها اسما. نسميها "دالة موجية" و نرمز لها بالحرف اللاتينى) "psi" ينطق ساى.

عندما تفتح مصدرك الضوئى فإن ما تطلقه هو موجة ساى (دالة موجية). إنها ليست عشوائية بل تسير بالضبط تبعا لقوانين حركة الموجات حيث تسير فى كل الاتجاهات و تتداخل و كل هذا...إلخ. تبعا لتفسير كوبنهاجن فإن موجة ساى تحدد احتمال وجود الفوتون فى نقطة محددة. إذن ففى هذه المرحلة يبدو السؤال " أين الفوتون؟" لا جواب له. يوجد فقط موجة احتمالية له.

فى نظر الرياضيات يمكننا أن نعبر عن موجة ساى برسم مشابه لذلك الذى استخدمناه للضوء.و لكن لا بد أن تتذكر أن الرسم هنا له معنى مختلف عن رسم الضوء. فالارتفاع فى رسم الضوء كان يمثل شدة المجال الكهربى. فى موجة ساى فهو يمثل احتمال وجد الجسم فى نقطة ما .

حتى تقوم بالنظر لتعرف أين الفوتون، فالفوتون ليس موجودا فى مكان معين و لكنه موزع حسب موجته الاحتمالية فى المكان أى أن له احتمال وجود أكبر فى بعض النقاط عن الأخرى. إذن فالتداخل يعمل تماما كما تعودنا. فى التداخل البناء تجتمع مناطق الاحتمال العالى لتعطى منطقة ذات احتمال اعلى فى التداخل الهدام تلغى الموجات بعضها.

بعد ذلك ستأتى أنت لتقيس مكان الفوتون (عن طريق رؤية سقوطه على اللوحة السوداء)"لا يمكن أن تكون نتيجة القياس (ممكن هنا أو هناك)" القياس دائما يعطى نتيجة .إذن فالقياس يجبر الفوتون على الاختيار -على اساس توزيع احتمالات وجوده- المكان الذى يتواجد به عند القياس. بالمعنى الفيزيائى فإن قياسك يؤثر على الدالة الموجية التى كانت منتشرة فى المكان لتتركز فى نقطة معينة (حيث سترى الفوتون)

إذن كيف تنطبق هذه النظرية على تجاربنا؟ أولا دعنا نلقى نظرى على تجربة الفتحتين . أنت تطلق فوتونا. موجة ساى تخرج من مصدر الضوء ثم تمر عبر الفتحتين ثم تسقط على اللوح الفوتوغرافى بنمط هو نفس نمط التداخل الموجى (لأنها موجة) فيما عدا أنه نمط توزيع احتمالات بدلا من نمط ضوئى . على اللوح (الحساس للفوتونات) يتم قياس الفوتون. على الفوتون اختيار أين يرتطم . بالطبع الكثير من الفوتونات تختار الأماكن ذات الاحتمالات العالية و القليل يختار أماكن الاحتمالات المنخفضة و لا فوتونات تختار اماكن الاحتمال الصفرى و لهذا السبب نرى نمط التداخل الضوئى.

عندما نضع أجهزة قياس فى الفتحات فنحن نؤثر على الدالة الموجية مبكرا . نجبر الفوتون على أن يختار من أى الفتحتين يعبر: تصبح الاحتمالات احتمالين ، أحدهما " سيعبر بالتأكيد" و الأخر " لن يعبر من هذه الفتحة بالتأكيد" و بهذا يصبح هناك شعاعا واحدا و لا يوجد تداخل.

خذ بعض الوقت لتفهم هذا . حاول أن تقتنع بأن نظرية كوبنهاجن تفسر تجاربنا . و لأن موجات ساى هى موجات مثل موجات الضوء فإنها تتبع مبدأ التكافؤ : " فى قياس الكميات الكبيرة فإن ميكانيك الكم والفيزياء الكلاسيكية يعطيان نفس النتائج."

تجربة أخرى:

الأن أنت تعلم الكثير عن الضوء . و لكن علينا أن نوفى بما وعدنا به فى البداية فى تعريف الكم " أقرب العلوم فى وصف الطبيعة". فماذا عن كل الأشياء التى ليست ضوء مثل الكرات و الالكترونات و أنت و أنا؟ هل تفيد الكم فى هذه الأشياء؟

الاجابة هذا سنقوم بتجربة أخرى جديدة . بالطبع هى تجربة الفتحتين و لكن بشئ جديد. بدلا من الضوء فسنستخدم مدفع الكترونات .وبدل الحائط سنضع جهاز يحسبالاكترونات و يعرف متى و أين ارتطم الالكترون. وسنطلقهم واحدا تلو الأخر كما فعلنا مع الضوء و الكرات . (بالطبع العلماء يستخدمون تجارب أخرى و لكن هذه سهلة وتفى بغرضنا هنا)

ماذا وجدنا؟ بالطبع أنت تعتقد أننا سنرى نمط الجسيمات المميز حيث قعة كبيرة من الالكترونات خلف كل فتحة بدون تداخل لأن الاكترونات مثل الكرات كلهم جسيمات. بعد عشرون عاما من فرضية أينشتين بامتلاك الضوء خصائص جسيمية، ظهر طالب فرنسى متخرج اسمه لويس دبرولى و أقر أن كل الجسيمات لها دالة موجية . لو أن هذا حقيقى فإن الدالة الموجية للالكترونات لا بد أن تتصرف كالدالة الموجية للضوء و نرى نمط التداخل.

يمكنك أن تخمن الأن أن هذا ما وجدناه فعلا .دبرولى حصل على الدكتوراه فى هذا الموضوع و بعد 5 أعوام حصل على جائزة نوبل لهذا الاكتشاف. وبالفعل تم اكتشاف أن كل الأشياء تفعل هذا التداخل. الالكترون، البروتون ، حتى الذرات كاملة . ولكن ما تم ملاحظته أنه كلما كبر حجم الجسيم اقتربت الأعمدة لبعضه البعض (أعمدة التداخل على الحائط) . هذا يعنى أن ملاحظة نمط التداخل مع الذرات أصعب من الالكترونات .ومع الكرات تقترب جدا لدرجة أنهم يظهرون كبقعة كبيرة (و لهذا سبب).

هذا مرة أخرى يقودنا لمبدأ التكافؤ:قياس الأشياء الكبيرة سيعطى نتائج كلاسيكية.

فى الواقع الأعمدة فى الالكترونات و الذرات قريبة جدا أصلا بحيث أن ملاحظتها مستحيلة و لكن العلماء استخدموا تجارب أخرى كدليل على الخصائص الموجية للجسيمات لن نشرحها هنا لأنها تعطى نتائج موجية تماما كما فعلت تجربة الفتحتين.إذن، أين نحن الأن ؟

لدينا الأن نظرية تفسر نتيجة تجاربنا مثل تجربة الفتحتين مع الضوء و الالكترونات و الذرات و الكرات . فى الواقع تم اجراء آلاف التجارب منذ ظهور ميكانيك الكم و كلها أيدت صحة هذه النظرية . إنها تشرح كل شيئ . (التفاصيل المعقدة تم تعديلها قليلا بعد نظرية كوبنهاجن ولكن المبادئ الأساسية التى ذكرناها هنا ظلت كما هى)

و لكن النظرية بالطبع أدت إلى تساؤلات مدهشة:

ما هى هذه " الساى" على أية حال؟ ما معنى قول " موجات احتمالات" تسير فى المكان و تتداخل مع بعضها و فجأة تنكمش لنقطة مؤكدة؟

ما معنى كلمة " نقيسه" ؟ بالطبع فإن الفوتون يتفاعل مع العديد من الأشياء فى طريقه إلى الحائط ، و لكنه لا يعتبرهم "قياسات" وفى نفس الوقت فإن القياس لا يتطلب وجود شخص ، يمكنك أن تضع جهاز القياس على الفتحات فقط دون وجود أشخاص و مع ذلك سيختفى التداخل . فما هى الأشيء التى تعتبر قياسات و تؤثر فى الدالة الموجية؟

عندما تضع جهاز قياس فى فتحة واحدة ؟ فكيف تعرف الموجة التى تعبر فى الفتحة الأخرى أن عليها أن تختار و تنكمش؟

ألا يوجد تفسير أخر يفسر كل التجارب و لكنه يكون أكثر منطقية؟

الأسئلة الثلاث الأولى لا جواب لهم ، على الرغم من وجود بعض الأبحاث على السؤال الثانى. اجابة السؤال الرابع تبدو "لا" . ظهرت بعض التفسيرات الأخرى و لكنها خاطئة و غير منطقية أيضا . لذلك فلا يوجد طريقة تبدو لنا منطقية مما يأتى بنا إلى ...بعض الكلام عن المنطق والحس العام.

لا أحد فعلا يفهم هذا الكلام ولا مدرسك الفيزيائى و لا ستيفن هوكنج و لا نحن بالطبع . لا أحد يعلم ما هى ساى.

ولكن لا بد أن تعود نفسك عليها ، اخترع مواقف و تجارب نظرية وانظر ماذا تفعل الكم فيها.

هذا مثال وضعه أحد علماء الكم " اروين شرودنجر". تخيل أننا أقمنا تجربة باستخدام جسيم معين صغير كفاية لينطبق عليه نتائج الكم . هذا الجسيم لديه احتمال 50% أن يتحلل بعد ساعة. الجسيم فى صندوق و أنت لا تنظر إليه. بعد ساعة ما هو الحال؟؟ كلاسيكيا ستقول أن الجسيم اما تحلل أو لا و انك ستعرف عندما تنظر. كميا ستقول أن الجسيم فى حالة غير محددة . دالته الموجية تقول ربما موجود و ربما تحلل و انها لن تقرر الحال إلا عندما تنظر أنت. الجملتان تبدوان متشابهتان و لكنهما مختلفتان. لنوضح الفرق سنضع قطة مع الجسيم مع جهاز سيقتل القطة اذا تحلل الجسيم . الأن هل القطة فى حالة "ربما ميتة و ربما حية" حتى تنظر أنت؟

ربما ترى أنه كلام لا معنى له ، ربما تقول: قول " القطة نصف حية نصف ميتة حتى نقيس ذلك" هو أسلوب أخر لقول " القطة إما حية وإما ميتة و لكننا لن نعرف حتى ننظر". و لكن تذكر كلامنا عن الساى. الكم تقول أن الجملتان مختلفتان و أن الجملة المنطقية " القطة إما حية أو ميت ولن نعرف حتى ننظر" خاطئة . فالفوتون ليس موجودا فى مكان ما حتى نقوم بقياسه . وكذلك القطة ليست ميتة أو حية حتى ننظر (الساى ستقرر عندما تقاس فقط)

يبدو أنه كلام غير منطقى أليس كذلك ؟ و لكن بعض العلماء يقولون أنه "لماذا عليها أن تكون منطقية" البشر نشأوا فى عالم معين يرون أجسام طبيعية و قد استخرجوا منطقهم من العالم الذى يعيشون فيه . و لكن هذا المنطق حتما ليس عليه أن ينطبق فى الأماكن التى لم يعيشوا فيها. ميكانيك الكم تعطى نتائج مذهلة فقط عند تطبيقها على المقاسات الصغيرة جدا التى لا نراها أصلا و لهذا تبدو غير منطقية.

الفصل العشرون

أنواع التفاعلات النووية Types of Nuclear Reactions

يمكن تقسيم التفاعلات النووية الى أربعة أقسام وهي:

التحلل النووي التلقائي. Radioactive decomposition

التفاعل النووي غير التلقائي. Nuclear disintegration

الانشطار النووي. Nuclear fission

الاندماج النووي. Nuclear fusion

التحلل النووي التلقائي

تتحلل أنوية العناصر الثقيلة غير المستقرة تلقائياً إلى أنوية أخف وأكثر استقراراً ، ويصدر عنها دقائق ألفا أو بيتا أو أشعة جاما.

أمثلة :

تحول نظير اليورانيوم تلقائياًإلى نظير الثوريوم وانطلاق دقيقة ألفا:

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$$

تحول نظير الثوريوم تلقائياً إلى نظير البروتاكتينيوم وانطلاقدقيقة بيتا :

$$_{90}Th^{234} \longrightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^{0}$$

التفاعل النووي غيرالتلقائي :

في هذا النوع من التفاعلات تستخدم الجسيمات النووية كقذائف تسلط على أنوية ذرات غير مستقرة فتحولها الى أنوية أكثر استقراراً مطلقة بروتون أو نيوترون.

ومن أمثلة هذا النوع من التفاعلات قذف ذرات البريليوم بجسيمات الفاوينتج بفعل ذلك عنصر الكربون.

$$_{4}Be^{9} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{6}C^{12} + {}_{0}n^{1}$$

وقد تمكن العلماء من استخدام هذا النوع من التفاعلات النوويةلتحضير عناصر ثقيلة من عناصر أخف منها.

ومن الأمثلة على ذلك تحويلالألومنيوم إلى نظير الفسفور.

$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_{0}n^{1}$$

الانشطار النووي :

نظراً لكون النيوترونات أجسام غيرمشحونة فهي ذات قدرة عالية على اختراق أنوية العناصر موجبة الشحنة ، ولهذا السببفهي تستخدم كقذائف يمكن أن تصل إلى النواة بسهولة فتندمج معها أو تشطرها.

وقد قام العلماء بتسليط النيوترونات على ذرات عنصر اليورانيوم (يورانيوم – 235) واكتشفوا أن ذرة اليورانيوم تنشطر إلى جزأين ، وينتج عن ذلك أيضاً ثلاثة نيوتروناتوكمية هائلة من الطاقة.

$$ {}_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{56}Ba^{139} + {}_{36}Kr^{94} + 3\,{}_{0}n^{1} $$

نظير اليورانيوم ـ ٢٣٥
ذرات غير مستقرة
طاقة +

الاندماج النووي :

يشتمل هذا التفاعل على اندماج نواتين خفيفتين لانتاج نواة أكبر.

ومثال ذلك اندماج ذرات نظائر الهيدروجين لاعطاء ذرات هيليوم وكمية هائلة من الطاقة.

$$_{1}H^{2} + _{1}H^{3} \longrightarrow _{2}He^{4} + _{0}n^{1}$$

ورغم اعطاء هذا التفاعل كمية هائلة من الطاقة ، إلا أنه لا يبدأ إلااذا زود بطاقة عالية للتغلب على التنافر الشديد بين أنوية الذرات التي ستندمج ، ومثل هذه الطاقة لا يتم توفيرها الا من خلال تفاعل انشطار نووي.

ويعتقدأن هذا التفاعل هو المسؤول عن الطاقة المنبعثه من الشمس.

أنواع التفاعلات النوويةTypesofNuclearReactions

التفاعل النووي المتسلسلChain reaction

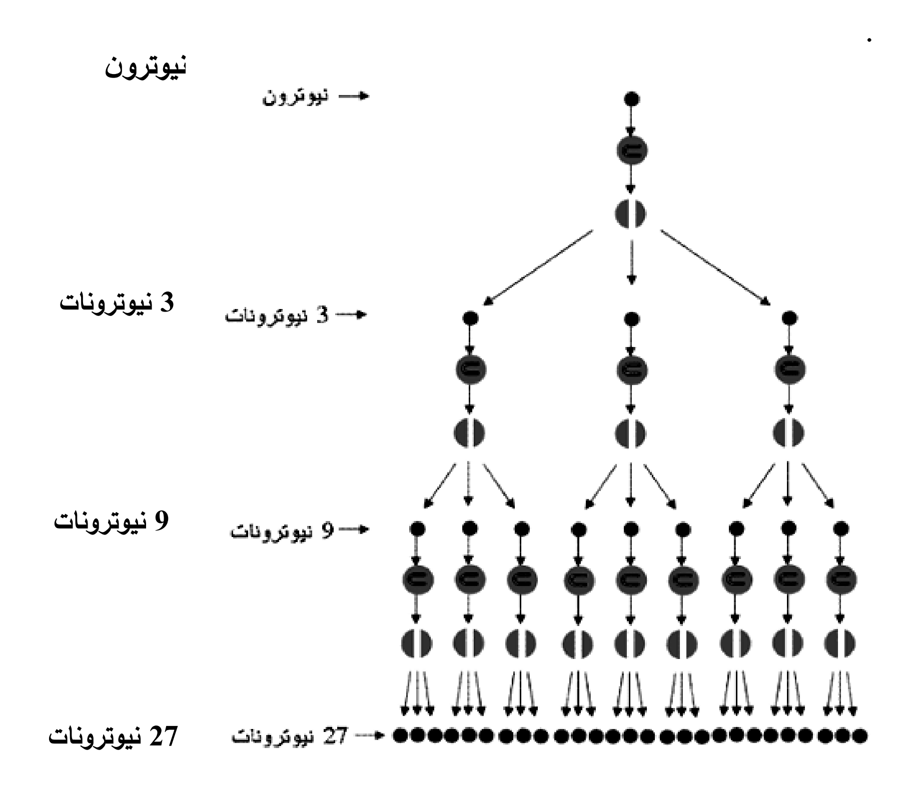
التفاعل النووي المتسلسل هو تفاعل انشطار نووي ينتج عنه عدد من النيوترونات لها القدرة على تكرارالتفاعل.

يتطلب التفاعل النووي المتسلسل نيوترون واحد لبدء تفاعل انشطارأنوية اليورانيوم (235) فينشأ عن هذا التفاعل نواتي عنصرين جديدين ، وينتج أيضاً ثلاثة نيوترونات أو نيوترونين وكمية هائلة من الطاقة

$$_{92}U^{235} + _{0}n^{1} \longrightarrow _{56}Ba^{1} + _{36}Kr^{94} + 3\,_{0}n^{1}$$

وكل نيوترون له القدرة على أن يكرر التفاعل السابق مع ذرة يورانيوم أخرى بشكل متسلسل والذي يؤدي إلى أعداد هائلة من الانشطارات، إلى أن تنشطر جميع أنوية اليورانيوم أو أن تفقد النيوترونات القدرة على شطر أنوية اليورانيوم.

استرعى هذا التفاعل اهتمام العسكريين وتمكنوا من خلاله من صنع القنبلة النووية ، كما أن هذا التفاعل يستخدم للحصول على الطاقة الكهربائية في المحطات الكهرنووية .



الانشطار النووى:

كان العالم فيرمي (Enrico Fermi) في العام 1934 يقوم ببعض التجارب للحصول على نظائر العناصر عن طريق قذف النوى بالنيوترونات. وعندما وصل إلى عنصر اليورانيوم (العنصر الأخير في الجدول الدوري في ذلك الوقت.   توقع أن قذف العنصر بالنيوترونات سيؤدي إلى وجود نواة غير متسقرة تقوم بإطلاق جسيمات بيتا وبالتالي ازدياد العدد الذري من 92 إلى 93 وانتاج عنصر جديد في الجدول الدوري , ولكنه لم يحصل على ما توقعه ولم يستطع التعّرف علىنواتج التفاعل.

واستمرت الأبحاث والدراسات من العام 1935 إلى العام 1938حيث قامعالم كيميائيألماني يسمى إدا نوداك(Ida Noddack) بالتعرف على نواتج التفاعل وأوضح أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى نواتين متوسطتي الكتلة .وقد أكدت الدراسات صحة ما افترضه هذا العالم . وبذلك يكون الإنشطار النووي ": انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتي الكتلة , وانتاج كميات هائلةمن الطاقة نتيجة تفاعل نووي"

ولإحداث الإنشطار تقذف النواة الثقيلة مثليوارانيوم - $^{235}_{92}U$ جسيمات خفيفة نسبياً مثل النيوترونات التيتعد أفضل القذائف لأنها لا تحمل

ويمكن تمثيل الإنشطار النووي لليورانيوم بصورة عامة بالمعادلة والشكل:

$${}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow y + Y + {}_{0}^{1}n + \text{طاقة}$$

ولا ينتج دائماً نفس نواتج التفاعل إلا أن العدد الذري للأنوية y , Yيتراوح بين 36 و 60

ومن الإنشطارات الشائعة الحدوث:

$${}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{56}^{141}Ba + {}_{36}^{92}Kr + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة}$$

$${}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{56}^{144}Ba + {}_{36}^{89}Kr + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة}$$

$${}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{54}^{140}Xe + {}_{38}^{94}Sr + 2\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة}$$

$${}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{50}^{132}Sn + {}_{42}^{101}Mo + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة}$$

وفي التفاعلات السابقة فإن مجموع كتل المواد الناتجة من التفاعل أقل من مجموع كتل المواد الداخلة في التفاعل مما يؤكد أن هذا التفاعل منتج للطاقة.

مثال(1):

حدد كمية الطاقة الناتجة فيالتفاعل:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

الحل:

كتل المواد الداخلة في التفاعل:

ك النيوترون = 1.008665 و.ك.ذ

ك اليورانيوم 235.043933 = و.ك.ذ

ك النيوترون + ك اليورانيوم=236.052598 و.ك.ذ

كتل المواد الناتجة من التفاعل=

× 3ك النيوترون = 3.025995 و.ك.ذ

ك الباريوم = 140.913740 و.ك.ذ

ك الكربتون = 91.925765 و.ك.ذ

× 3=ك النيوترون + ك الباريوم + ك الكربتون

235.865500 و.ك.ذ

•ك = الفرق بين مجموع الكتل الداخلة والناتجة=

236.052598ـ 235.865500= 0.187098 و.ك.ذ

الطاقة الناتجة = 0.187098 × 931 = 174 مليون الكترونفولت

وهذا هو مقدارالطاقة الناتجة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم وهو مقدار هائل وتصل الطاقة الناتجة إلى 200 مليون الكترون فولت.

وذلك لأن النوى الناتجة هي نوى مشعة تقوم بإطلاق طاقة تصل إلى 20 مليون الكترون فولت للوصول إلى مرحلة الإستقرار ولتفسير ما يحدث أثناء عمليةانشطار النواة

افترض العالم انبور ويلر (Neils Bohr & John Wheeler) نموذج " قطرة السائل "والموضح في الشكل أدناه:

ويفترض هذا النموذج تماثلاً بين النواة وبين قطرة سائل مشحونة , حيث تقوم نواة اليورانيوم باصطياد النيوترون وتصبح نواة مستثارة تهتز بعنف مما يؤدي إلى حدوث تغير في شكلها ,(وفي هذا الشكل الجديد كما هو موضح) فإن القوى النووية تصبح أضعف مما هي عليه أصلاً ويبدأ تأثير قوى التنافر الكهربائية حيث تنقسم النواة إلى قسمين وينتج المزيد من النيوترونات والطاقة الهائلة.

والنيوترونات المسببة للإنشطارهينيوترونات بطيئة وهيتمتلك أكبر احتمال للإصطدام بالنواة وإحداث التفاعل.

التفاعل المتسلسل: Chain Reaction

لعلك لاحظت أن انشطارنواة اليورانيوم ـ 235 ينتج مجموعة من النيوترونات (اثنين أو ثلاثة) , وأن ما سبب انشطار النواة هونيوترونات بطيئة . وبذلك يمكن وتحت شروط معينة أن تتسبب النيوترونات الناتجة من التفاعل في مزيد من الإنشطارات المتتالية والتي تنتج قدراً هائلاً من الطاقة. وهذا ما يعرفب التفاعل المتسلسل.

وفي الأسلحة النووية يتم إحداث تفاعل متسلسل غير متحكم فيه ,مما ينتج طاقة هائلة ومدمرة وتؤدي إلى حدوث أضرار عديدة , أما إذا تم التحكم في عدد النيوترونات المشاركة في التفاعل فإنه يكون بالإمكان التحكم في الطاقة الناتجة والسيطرة عليها واستغلالها في العديد من الأغراض , وهذا ما يحدث فعلاً في المفاعل النووي.

ومن المشاكل التي تعترض التفاعل المتسلسل:

إذاكانت كتلة العنصر المستخدم في التفاعل أقل من كتلة معينة تسمى "الكتلة الحرجة"فإن كثير من النيوترونات ستفلت دون التفاعل مع أنوية جديدة.

النيوترونات الناتجة عن الإنشطار هي نيوترونات متوسطة السرعة , ولذا يلزم تقليل سرعتها حتى تستطيع القيام بعمليات انشطار جديدة .

$^{238}_{92}U$ $^{235}_{92}U$ $^{238}_{92}U$

يحتوي اليورانيوم الطبيعي على 99.3 % من (والذي يمتص النيوترونات المتوسطة السرعة دون حدوث انشطار (وعلى 0.7% من اللازم لعملية الإنشطار وللحصول على تفاعل متسلسل في انفجار نووي يلزم زيادة تركيز إلى 50% في حين يلزم تركيزه إلى 3.6 % في المفاعلات النووية.

القنبلة النووية: Atomic Bomb

لبناء قنبلة ذرية يلزم أن تكون كتلة اليوراينوم ـ 235 مساوية للكتلة الحرجة اللازمة لبدءالتفاعل المتسلسل . وقد قامت الولايات المتحدة الامريكية ببناء أول قنبلة ذرية انظرالشكل والتي أطلق عليها "الرجل النحيف" "Thin man " وأسقطت على هيروشيما في 5 آب (أغسطس) 1945 وهذا النوع من القنابل يتكون منقطعتين من اليورانيوم , كل منهما كتلته أقل من الكتلة الحرجة , وتُطلق أحداهما (الصغرى) على شكل قذيفة توجه نحو الكبرى وتنتج الكتلة الحرجة اللازمة لبدء التفاعل المتسلسل الذي يقود إلى الإنفجار العنيف.

ومن الصعوبات التي تواجه صناعة مثل هذه القنبلة , استخلاص اليورانيوم من ولذلك تمت صناعة نوع آخر من القنابل , باستخدامحيث يتم في المرحلة الأولى بقذف اليورانيوم ـ 238 بالنيوترونات حسب المعادلة التالية:

$$^{238}_{92}U \quad ^{238}_{92}U \quad ^{235}_{92}U$$

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

$$^{239}_{94}Pu \qquad ^{239}_{93}NP$$

حيث ينتج النبتونيوم) الذي يتحلل إلى بلوتونيومحسب المعادلة التالية:

$$^{239}_{93}Np \longrightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}$$

ولقداتضّح أن قابلية بلوتونيوم 239للإنشطار أكبر من قابلية اليورانيوم235 ولذلك فإنه يلزم كتلة أصغر للوصول إلى الكتلة الحرجة , ولذلك قام العلماء بتصميم نوع آخر من القنابل الذرية (قنبلة البلوتونيوم) وتكون هذه القنبلة على شكل قطعة كروية صغيرة من البلوتونيوم توضع في مركز كرة , وتحاط بقطع من البلوتونيوم موضوعة على بعد ثابت من الكرة بحيث تكون سطح كرة أكبر, وكتلة كل منها أقل من الكتلة الحرجة.ولإحداث الإنفجار تجري تفاعلات كيميائية تقوم بإطلاق قطع البلوتونيوم كلها في آن واحد نحو مركز الكرة , مما يؤدي إلى التحام قطع البلوتونيوم وتكوّن الكتلة الحرجة ويبدأ التفاعل المتسلسل , وقد أطلقت أول قنبلة بلوتونيوم على مدينة ناجازاكي في اليابانوسميت "الولد السمين"

" Fat Boy "في 9 آب (أغسطس) 1945.

المفاعل النووي الإنشطاري:

قام فيرمي ببناء أول مفاعل نووي إنشطاري في جامعة شيكاغو , وبدأ العمل فيه في 2 كانون أول (ديسيمبر) 1942 , وكانت هذه أول مرة يتم فيها إحداث تفاعل نووي مُسيطر عليه , ويوضح الشكل التالي المفاعل النووي.

يحتوي المفاعل النووي على يورانيوم ـ 238مضاف إليه 3.6 % من اليورانيوم ـ 235ويتم إحداث التفاعل التالي:

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \longrightarrow {}_{56}^{141}Ba + {}_{36}^{92}Kr + 3\,{}_{0}^{1}n + \text{طاقة} $$

وتكون النيوترونات الناتجة عن هذا التفاعل سريعة لأنها تمتلك طاقةحركية كبيرة , ولذلك يوضع المفاعل في حوض بهماء تحت ضغط مرتفع . حيث يعمل الماء على إبطاء النيوترونات وتقليل سرعتها حتى تستطيع البدء بانشطار جديد ولكي يحدث التفاعل المتسلسل.

ولكن لا يُسمح لهذا التفاعل بأن يستمر بعشوائية كما في القنبلة الذرية, لذلك يتم السيطرة عليه باستعمال ألواح من الكادميوم ، حيث تعمل هذه الالواح على امتصاص النيوترونات وبذلك يقل عدد النيوترونات المسببة للإنشطار ويتم السيطرة على التفاعل . ويوجد وظيفة أخرى للماء حيث تعمل على التبريد نتيجة للحرارة العالية الناتجة عن التفاعل.

ومن مساوئ استخدام هذا المفاعل ، المخلفات النووية الناتجة عن التفاعل حيث ينتج نظائر عديدة مشعة يجب التخلص منها , والطريقة المتبعة حالياً هي دفن هذه المخلفات في قاع مناجم الملح والتي تكون جافة وتبعد عن سطح الأرض مسافة تقدر بآلاف الأقدام حيث يمكن أن تبقى هناكولا تتسبب في تلويث البيئة.

الإندماج النووي:

علمت أن بعض الأنوية الثقيلة مثلتنشطر إلى نواتين متوسطتين إذا قذفت بنيوترون بطيء $^{235}_{92}U$, وعلمت أن مثل هذا التفاعل

يسمى "الإنشطار النووي " وعكس هذا التفاعل أي "دمج نواتين خفيفتين معاً لتكوين نواة أثقل يسمى الإندماج النووي " وتنطلق طاقة هائلة مصدرها نقص كتلة النواة الناتجة عن مجموع كتلتي النواتين المندمجتين معاً.

ومن الأمثلة على الإندماج النووي إندماج نواتي الديتريوم (هيدروجين ـ 2) لتكوين الهيليومكما في المعادلة التالية:

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n + \text{طاقة}$$

ولحساب الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل:

مجموع كتل الأنوية الداخلة في التفاعل = 2 كديتريوم= 2.013 × 2

=4.026 و.ك.ذ

مجموع كتلة الأنوية الخارجة عن التفاعل = ك هيليوم + ك النيوترون 1.009 + 3.015

=

= 4.024و.ك.ذ

النقص في الكتلة• = ك = 4.026 ـ 0.002 = 4.024 و.ك.ذ

الطاقة الناتجة عن التفاعل = 0.002 × 931 = 1.862 مليون الكترونفولت.

وبالرغم منأن الطاقة الناتجة (1.862 مليون الكترون فولت) لا تساوي أكثر من 10% من الطاقةالناتجة من الإنشطار النووي (200 مليون الكترون فولت) إلا أننا يجب أن نتذكر هناأن كتلة نواة اليورانيوم تساوي تقريباً 235 و.ك .ذ في حين أن كتلة نواة الديتريوم 2 = و.ك.ذ ولذلك فإن الطاقة الناتجة لكل كيلوغرام من الوقود النووي الإندماجي أكبر كثيراً من الطاقة الناتجة لكل كيلوغرام من الوقود النووي الإنشطاري, كما أن الإندماج النووي لا يتطلب وجودالكتلة الحرجة اللازمة للإنشطار النووي.

وقد يبدو للوهلة الأولى أن الإندماج النووي أسهل كثيراً من الإنشطار النووي، لأن الديتريوم موجود في الطبيعة ويمكن الحصول عليه بكميات وافرة بثمن رخيص ، إلا أن الحال ليس كذلك بسبب زيادة قوة التنافر الكهربائيةعنداقتراب النواتين من بعضهما البعض ولهذا السبب فإنه من أجل إحداث اندماج نووي لا بدمن توفير الظروف التالية:

حصر الأنوية الخفيفة في حيز صغير جداً لزيادة إمكان تصادمهما والتحامهما معاً .

زيادة الضغط الواقع على الأنوية الخفيفة زيادة كبيرة.

رفع درجةحرارة الأنوية الخفيفة إلى رتبة (710) درجة سيلسيوس , وذلك لاكسابها طاقة حركية عالية.

وبسبب صعوبة توفير كل هذه الظروف , ولأنه لا يوجد إناء يمكن أن يحويمادة درجة حراراتها عالية ومضغوطة بهذا الشكل, لذلك كان من الصعب تحقيق الإندماجات النووية في المختبرات العلمية.

ومن مزايا المفاعل النووي الإندماجي:

سهولة الحصول على الوقود النووي حيث أنه يمكنمثلاً استخلاص الديتريوم من مياه البحر.

النفايات الناتجة (الهيليوم) أنوية غير مشعة.

من السهل إيقاف التفاعل.

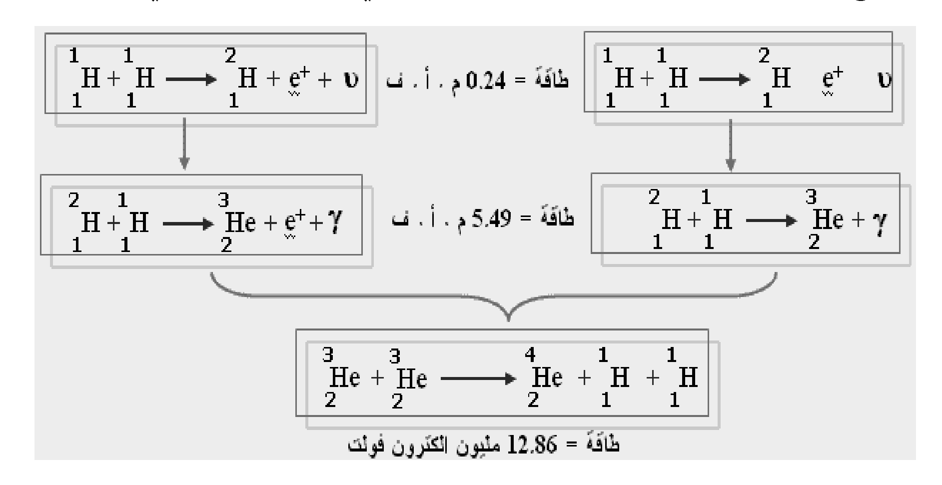
وقد توصل العلماء إلى إحداث اندماج نووي محدود في القنبلة الهيدروجينية والموضحة في الشكل التي وقودها الهيدروجين الثقيل الديتريوم والتي تتكون من غلاف قوي جداً في داخله قنبلة نووية انشطارية , توفر درجة الحراراة العالية اللازمة لتزويد أنوية الهيدروجين بالطاقة الحركية، ولتفجير القنبلة الهيدروجينية يتم أولاً تفجير القنبلة النووية الإنشطارية فترتفع درجة حرارة الديتريوم ارتفاعاً هائلاً مما يمكن نُواه من الإندماج وتوليد طاقة حرارية هائلة.

وقد أجرت الولايات المتحدة الأمريكية, أول تجربة للقنبلة الهيدروجينية في أيار عام 1951 في المحيط الهادي , وفي تشرين الثاني من العام نفسه . اجرت التجربة الثانية باستخدام قنبلة من عيار 7 ميغا طن , وكان نتيجة هذه التجربة اختفاء جزيرة من البحر اختفاء تاماً.

الطاقة الشمسية : Solar Energy :

يفسر العلماء طاقة النجوم بحدوث تفاعلات اندماج نووي في باطنها , فنظراً لارتفاع درجة حرارة باطن النجم والتي قد تصل إلى 15 مليون كلفن كمافي الشمس وكذلك كبر الضغط , جعل العالم بيثيه Bethe يفترض أن مصدر الطاقة الشمسية هو الإندماج النووي الذي يحدث بين أنوية الهيدروجين لتكوين أنوية الهيليوم , وأثناء ذلك تنتج الطاقة الشمسية الهائلة.

واقترح بيثيه دورة تسمى دورة البروتون ـ البروتون في الشمس موضحة في جدول.



تبدأ هذه الدورة بتصادم بروتونين

($^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H$) لتكوين ديوترون $^{2}_{1}H$

وينتجبوزيترون (+e) ونيوترينو(•) وعندما يتكون الديوترون فإنه يصطدم ببروتون آخر

خلال ثواني ويكّون نواة الهيليوم ($^{3}_{2}He$) ثم تتصادم نواتي الهيليوم ($^{3}_{2}He$)

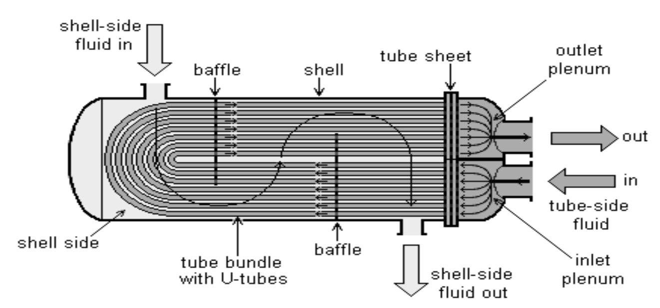
الناتجتين من تفاعلين مستقلين ,وتكّون ($^{4}_{2}He$) المستقر وبروتونين .

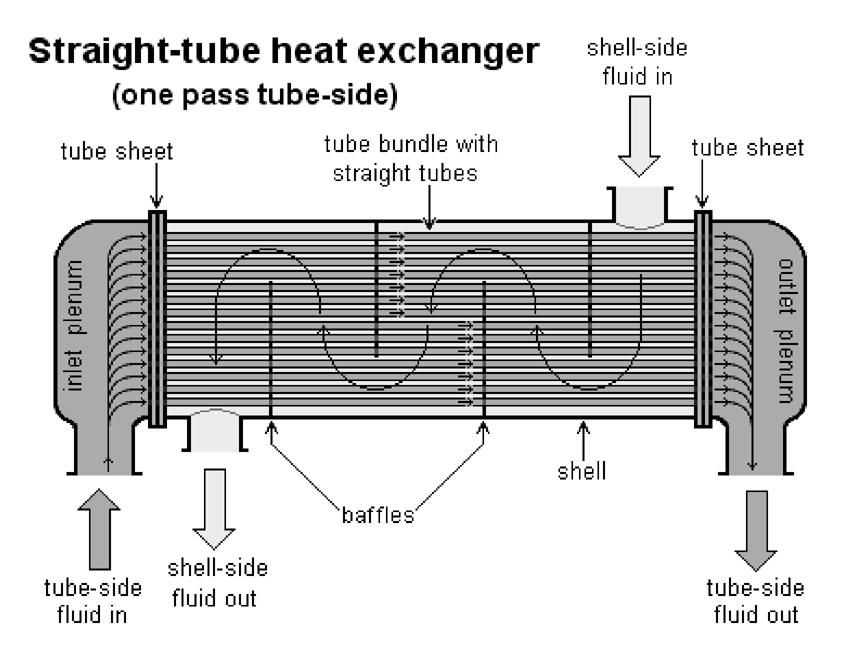
وبنظرة شاملة لما يحدث في دورة البروتون ـ البروتون , فإن ما يحدث فعلياً هو اندماج 4 بروتونات لتكوين نواة هيليوم و بوزيترونين وبانتاج كمية من الطاقة (ط) ويمكن حسابها:

ط = [4 ك البروتون ـ ك الهيليوم ـ 2 ك الكترون] س2

حيث س : سرعة الضوء ثم لننظرما يحدث للبوزيترونين الناتجين , إن ما يحدث فعلياً هو إفناء الكترونين مع البوزيترونين وتحويل الكتل إلى أشعة جاما طَ(طَ = 4 ك الكترون × س2) وبذلك تكون الطاقةالناتجة من الدورة =(4 ك بروتون + ك الكترون) س2 ـ (ك الهيليوم + 2 ك الكترون) س2 =4 ك البروتون ـ ك الهيليوم.

وبذلك تكون الطاقة الناتجة =] (4.00260) ـ (4(1.00873] (931)


U-tube heat exchanger
shell-side
fluid in
baffle
shell
tube sheet
outlet
plenum
out
in
tube-side
fluid
shell side
tube bundle
with U-tubes
baffle
shell-side
fluid out
inlet
plenum


Straight-tube heat exchanger
(one pass tube-side)
shell-side
fluid in
tube sheet
tube bundle with
straight tubes
tube sheet
inlet plenum
outlet plenum
shell
baffles
tube-side
fluid in
shell-side
fluid out
tube-side
fluid out

الفصل الحادي والعشرون

تفسير النظرية النسبية

البرت آينشتاين والنظرية النسبية

من هو البرت اينشتاين ولماذا ذاع صيته في أرجاء الأرض؟

البرت اينشتاين عالم فيزيائي قضى حياته في محاولة لفهم قوانين الكون. كان اينشتاين يسأل الكثير من الأسئلة المتعلقة بالكون ويقوم بعمل التجارب داخل عقله. فقد عاش اينشتاين عبقريا بإجماع كافة علماء عصره وبلغ أسمى درجات المجد العلمية بخلاف العديد من العلماء الذين ماتوا دون أن يحظوا بمتعة النجاح والتألق فمثلاً العالم ماندل الذي وضع قوانين الوراثة لم يعرف احد أنه هو الذي وضع هذه القوانين إلا بعد وفاته بخمسين عام، كذلك العالم والطبيب العربي ابن النفيس الذي اكتشف الدورة الدموية في جسم الإنسان لا يزال مجهولا حتى الآن وغيره من الأمثلة.. كانت عبقرية اينشتاين من نوع مختلف فلم يكن احد يفهم شيء عن نظريته النسبيةأو تطبيقاتها ولكن الجميع اقر بمنطقها. فقد جاءت النظرية النسبية الخاصة لتحير العلماء وتغير مفاهيم الفيزياء المعروفة. ويروي أن آينشتاين كان يقف في أحد شوارع هوليود مع شارلي تشابلن فتجمع حوليهما المارة، فقال آينشتاين لتشابلن ((لقد تجمع الناس لينظروا إلى عبقري يفهمونه تمام الفهم وهو أنت، وعبقري لا يفهمون من أمره شيئاً وهو أنا)).. العديد من العلماء بلغوا مراتب علمية عالية نتيجة لمجهودهم الفكري أو الفني

فمثلاً اديسون وبيكاسو وأبن سينا والمتنبي اجمع الناس على تفوقهم وعبقريتهم لأنهم لمسوا ورأوا قيمة ما يقدمون من اكتشافات واختراعات. وهذا لم يحدث مع آينشتاين حيث كانت عبقريته من نوع مختلف فما هو الذي قدمه آينشتاين؟ وعن ماذا كانت عبقريته؟ وما قيمة ما قدمه؟ وعن أي شيء تتحدث. كل ما هو معروف أنه وضع النظرية النسبية. فإذا ما حاول المرء قراءة النظرية النسبية إلا وجد نفسه غارقاً في بحر من الألغاز لدرجة انه شاع القول بأن هناك عشرة في العالم يفهمون النظرية النسبية وهذا غير صحيح..

حياة آينشتاين :

ولد ألبرت آينشتاين في 14 مارس 1879 في ألمانيا في مدينة صغيرة تسمى أولم وبعد عام انتقلت أسرته إلى ميونخ. كان والده هرمان صاحب مصنع كهروكيميائي. وكانت والدته بولين كوخ من عشاق الموسيقى وكان له أخت تصغره بعام. تأخر آينشتاين عن النطق وكان يحب الصمت والتفكير والتأمل ولم يهوى اللعب كأقرانه. لم يكن يعجبه نظام المدرسة وطريقة التعليم فيها التي تحصر الطالب في نطاق ضيق ولا تدع له مجالاً للإبداع وإظهار إمكانياته.

أهدى له والده بوصلة صغيرة في عيد ميلاده العاشر وكان لها الأثر البالغ في نفسه وبإبرتها المغناطيسية التي تشير دائما إلى الشمال والجنوب واستخلص هذا الطفل بعد تأمل عميق أن الفضاء ليس خالياً ولا بد وأن فيه ما يحرك الأجسام ويجعلها تدور في نسق معين. تعلق آينشتاين في شبابه بعلم الطبيعة والرياضيات وبرع فيهما في البيت وليس في المدرسة ووجد متعة في علم الهندسة وحل مسائلها. تعلم الموسيقى وهو في السادسة من عمره وكان يعزف على آلة الكمان. كانت اكبر مشكلة له اضطراره لدراسة اللغات والعلوم الإنسانية التي لا تطلق للفكر العنان وإنما حفظها للحصول على الشهادة وكان كثيرا ما يحرج أساتذة الرياضيات لتفوقه عليهم وطرده احد الأساتذة من المدرسة قائلاً له ((أن وجودك في المدرسة يهدم احترام التلاميذ لي)) سافر بعدها ليلتحق بوالديه في ميلانو بعد أن تركوه لمشاكل مادية في ميونخ والتحق هناك في معهد بولوتيكنيك ولكنه رسب في جميع امتحانات الالتحاق فيما عدا الرياضيات فأرشده مدير المعهد ليدرس دبلوم في إحدى مدن سويسرا ليتمكن بعد عام من الالتحاق في البوليتكنيك.

في عام 1901 بلغ اينشتاين من العمر 21 عاماً وبعد عناء طويل للحصول على عمل يعيش منه حصل على وظيفة في مكتب تسجيل براءات الاختراع في برن. قرأ الكثير عن أعمال العلماء والفلاسفة ولم تعجبه كتاباتهم حيث وصفها بالسطحية والبعد عن العمق الفكري الذي يبحث عنه.

في العام 1905 وضع آينشتاين خلال عمله في مكتب تسجيل الاختراعات العديد من النظريات التي جعلت من العام 1905 عاماً ثورياً في تاريخ العالم. واسترعت نتائج نظرياته اهتمام علماء الفيزياء في كافة جامعات سويسرا مما طالبوا بتغير وظيفته من كاتب إلى أستاذ في الجامعة وفي عام 1909 عين رئيسا للفيزياء النظرية في جامعة زيوريخ ثم انتقل إلى جامعة براغ الألمانية في 1910 ليشغل نفس المنصب ولكنه اضطر لمغادرتها في العام 1912 بسبب رفض زوجته مغادرة زيوريخ.....

من أعمال اينشتاين:

في عام 1905 نشر اينشتاين أربعة أبحاث علمية الأولى في تفسير الظاهرة الكهروضوئية والبحث الثاني للحركة الابروانية للجزيءات والثالثة لطبيعة المكان والزمان والرابعة لديناميكا حركة الأجسام الفردية. كان البحثين الأخيرين الأساس للنظرية النسبية الخاصة والتي نتج عنها معادلة الطاقة E=mc2وبتحويل كتلة متناهية في الصغر أمكن الحصول على طاقة هائلة (الطاقة النووية)..

في العام 1921 حصل آينشتاين على جائزة نوبل لأكشتافه قانون الظاهرة الكهروضوئية التي حيرت هذه الظاهرة علماء عصره.

وضع اينشتاين الأسس العلمية للعديد من المجالات الحديثة في الفيزياء هي:

النظرية النسيبة الخاصة

النظرية النسبية العامة

ميكانيكا الكم

نظرية المجال الموحد

وحتى يومنا هذا يقف العلماء عاجزين عن تخيل كيف توصل اينشتاين لهذا النظريات ولا سيما وأن التجارب التي تجرى حتى الآن تؤكد صحة نظريات اينشتاين وينشر ما يقارب 1000 بحث سنوياً حول النظرية النسبية..

قال عنه زميله في برلين العالم الفيزيائي لندتبورغ ((كان يوجد في برلين نوعان من الفيزيائيين: النوع الأول آينشتاين، والنوع الآخر سائر الفيزيائيين)).

مع اندلاع الحرب العالمية ظل آينشتاين يتابع أعماله العلمية في برلين وركز نشاطه على التوسع في نظرية الجاذبية التي نشرها في العام 1916 وهو في الثامنة والثلاثين من عمره. حاول الكثير من الأحزاب السياسية زجه في نشاطاتهم ولكنه كان دائما يقول إنني لم اخلق للسياسة وفضل الانعزال والوحدة قائلاً ((إن الفرد المنعزل هو وحده الذي يستطيع أن يفكر وبالتالي أن يخلق قيما جديدة تتكامل بها الجماعة)) هذا أدى إلى دفع معارضيه للنيل منه. أحيكت له المؤامرات والدسائس

مما ذاع صيته في مختلف أنحاء العالم ووجهت له الدعوات من العديد من الجامعات للتعرف عليه وسافر إلى ليدن بهولندا وعين أستاذا في جامعتها. وأسف الكثيرون في ألمانيا رحيله لأن شهرته العظيمة في الخارج من شأنها أن تعيد إلى ألمانيا هيبتها التي فقدتها في الحرب. وتلقى كتب ودعوات من وزير التربية ليعود إلى بلده فعاد وحصل على الجنسية الألمانية لأنه في ذلك الوقت كان لا يزال محتفظاً بجنسيته السويسرية.

كثرت الدعوات التي تلقاها اينشتاين بسبب شهرة نظريته النسبية وكان يقابل في كل مرة يلقي فيها محاضرة باحتفال هائل يحضره عامة الناس ليتعرفوا على هذا الرجل بالرغم من عدم إلمامهم بفحوى النظرية النسبية ولكن اهتمام الناس به لم يسبق لعالم إن حظي به من قبل فكان يستقبل استقبال المعجبين لفنان مشهور. لقد كان تقرير صادر عن البعثة الفلكية الإنجليزية عام 1919 الذي تؤيد فيه صحة نبوءة آينشتاين عن انحراف الضوء عند مروره بالجو ألجاذبي من أهم دواعي شهرته العالمية. ولكن لكونه ألماني الجنسية كان صيته في انجلترا قليل وبدعوة من اللورد هالدين توجهآينشتاين إلى انجلترا وقدمه هالدين قائلا ((إن ما صنعه نيوتن بالنسبة إلى القرن الثامن عشر يصنعه آينشتاين بالنسبة إلى القرن العشرين)).

يروى أنه تم الإعلان عن جائزة قدرها خمسة آلاف دولار لكاتب أحسن ملخص للنظرية النسبية في حدود ثلاثة آلاف كلمة فتقدم ثلاثمائة شخص وحصل على الجائزة رجل من محبي الفيزياء ايرلندي الجنسية عمره 61 عاماً في 1921.

ظل آينشتاين يسافر بين بلدان العالم من فرنسا إلى أسبانيا إلى فلسطين وإلى الصين واليابان وحصل على جائزة نوبل في 1923 وسلمه إياها ملك السويد وبعدها استقر في برلين وكان الزوار من مختلف أنحاء العالم يأتون له ويستمتعون بحديثه ولقاءه حتى عام 1929 والتي فيها بلغ من العمر الخمسين عاماً قرر الاختفاء عن الأنظار ولم يكن احد يعلم أين يقيم.

كان آينشتاين محبا للسلم ويكره الحرب وفي نداء تلفزيوني إلى تورمان رئيس الولايات المتحدة الأسبق قال ((لقد كان من المفروض أول الأمر أن يكون سباق التسلح من قبيل التدابير الدفاعية. ولكنه أصبح اليوم ذا طابع جنوني. لأنه لو سارت الأمور على هذا المنوال فسيأتي يوم يزول فيه كل أثر للحياة على وجه البسيطة)).

في 18 ابريل من العام 1955 وفي مدينة برنستون مات ذلك العبقري وأخذ الناس يتحدثون عن آينشتاين من جديد وتنافست الجامعات للاستئثار بدماغ ذلك الرجل عساها تقف من فحصها على أسرار عبقريته.. كان آينشتاين يعيش بخياله في عالم آخر له فيه الشطحات والسبحات وكانت الموسيقى سبيله الوحيد للتنفيس عن ثورته العارمة وكان الكون بالنسبة له مسرحا ينتزع منه الحكمة فغاص في أبعاده السحيقة.

النظرية النسبية الخاصة

الأبعاد الأربعة (المكانية والزمانية)

نحتاج قبل الدخول إلى مفاهيم النظرية النسبية تعريف مفهوم الأبعاد المكانية والزمنية حيث أن كثيرا ما تعرف النظرية النسبية على إنها نظرية البعد الرابع. فما هي هذا الأبعاد الأربعة وكيف نستخدمها ولماذا اينشتاين العالم الأول الذي أكد على ضرورة استخدام البعد الرابع (الزمن) بالإضافة إلى الأبعاد الثلاثة التي اعتمد عليها جميع العلماء من قبله...

تطور مفهوم الأبعاد مع تطور الإنسان واقصد هنا تطوره في الحياة ففي الزمن الأول كان الإنسان يتعامل مع بعد واحد في حياته هذا جاء من احتياجه للبحث عن طعامه فكان يستخدم رمحه لاصطياد فريسته وبالتالي كان يقذف رمحه في اتجاه الفريسة حيث ينطلق الرمح في خط مستقيموحركة الرمح هنا تكون في بعد واحد وسنرمز له بالرمز x. ومن ثم احتاج الإنسان ليزرع الأرض وبالتالي احتاج إلى التعامل مع مساحة من الأرض تحدد بالطول والعرض وهذا يعد استخدام بعدين هما x وy ولأنه بدونهما لا يستطيع تقدير مساحة الأرض المزروعة. وعندما احتاج الإنسان للبناء أخذ يفكر ويحسب في البعد الثالث وهو الارتفاع. وهذه هي الأبعاد الثلاثة x,y,z

والتي كانت الأساس في حسابات الإنسان الهندسية، وحتى مطلع القرن العشرين اعتبرها الإنسان كافية لحل كل المسائل التي تقابله على سطح الكرة الأرضية. وحتى يومنا هذا نعتمد على الأبعاد الثلاثة في تنقلاتنا وسفرنا وحساباتنا.

آينشتاين هو العالم الوحيد الذي فكر في البعد الرابع (الزمن) وقال إن الكون الذي نعيشه ذو أربعة أبعاد وهي الطول والعرض والارتفاع والزمن. وادخل البعد الرابع في جميع حساباته. يستطيع الإنسان تخيل البعد الواحد والبعدين ويمكن رسمهما ولكن البعد الثالث يحتاج منه إلى قدرات تخيلية إضافية ولكن من الصعب التفكير والتخيل بالأبعاد الأربعة معا وخصوصا أن البعد الرابع وهو الزمن لا يمكن رؤيته ولكننا نعيشه وندركه كمسلمة من مسلمات الوجود. فإذا اعتبرنا أن هندسة الكون تعتمد على أربعة أبعاد فإن حساباتها ستكون غاية في التعقيد ونتائجها غير متوقعة وهذا ما فعله آينشتاين في نظريته النسبية.

تمهيد:إن المقاييس من مساحات وحجوم وكتل وتحديد المكان والزمان والسرعة هي مقاييس معروفة في نظر الفيزياء الكلاسيكية (فيزياء جاليلو ونيوتن) فكلنا نقيس المسافات والزمن بنفس الطريقة والكيفيةولا يختلف في ذلك اثنان إذا كانت مقايسهما معايرة بدقة وهذا يعني أننا سلمنا بأن هذه المقاييس مطلقة ولكن هذا يخالف النظرية النسبية التي تقوم على أنه لا وجود لشيء مطلق في كل هذه الأشياء أنما هي نسبية،

فالدقيقة (60 ثانية) التي نقيسها بساعاتنا يمكن أن يقيسها آخر على إنها أقل من دقيقة أو أكثر، وكذلك المتر ألعياري طوله متر بالنسبة للشخص الذي يحمله ولكن بالنسبة لآخر يتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة لذلك الشخص يجد المتر 80 سنتمتر وكلما زادت سرعته كلما قل طول المتر ليصبح طول المتر صفر إذا تحرك الشخص بسرعة الضوء (سنجد انه من الاستحالة الوصول لسرعة الضوء) وهذا لا يعود لخطأ في القياسات بين الشخصين أو خلل في آلات الرصد التي يستخدمونها فكل منهما يكون صحيحا ولكن بالنسبة له. ولهذا سميت بالنظرية النسبية والكثير من الأمور المسلم بها في حياتنا والتي نعتبرها مطلقة تصبح نسبية في عالم النسبية.

بمفهوم اينشتاين والتعامل مع الزمن على أنه بعد من الأبعاد يصبح كل شيء نسبياً فمثلاً نعرف أن الكتلة هي كمية المادة الموجودة في حجم معين مثل كتلة الماء في حجم سنتيمتر مكعب هي واحد جرام وكتلة الماء هذه ثابتة ولكن وزنها هو الذي يتغير تغيرا طفيفا نتيجة لتأثير الجاذبية عليها فيقل الوزن قليلا في المرتفعات ويزيد في المنخفضات نتيجة لتغير تأثير الجاذبية حسب بعدنا أو قربنا من مركز الأرض وهذا التغير يكون في حدود جرام واحد فقط، ولكن آينشتاين يبين أن الكتلة تتخلى عن تأثير الجاذبية وتتغير في حدود أكبر بكثير قد تصل إلى الآلاف ولا علاقة لتغير الكتلة بالجاذبية. إن ثبوت المقاييس والأبعاد عند آينشتاين في الكون لا وجود له حسب نظريته النسبية.

المكان في النسبية

إذا سألت نفسك في هذه اللحظة هل أنت ثابت أم متحرك، فستنظر حولك بكل تأكيد وتقول أنا لست متحرك فأنا ثابت أمام جهاز الكمبيوتر مثلاً وعلى الأرض وهذا صحيح فأنت ثابت بالنسبة للكمبيوتر والأرض (أي الكرة الأرضية) ولكن هذا ليس صحيح بالنسبة للكون فأنت والكمبيوتر والأرض التي تقف عليها تتحركوا وهذه الحركة عبارة عن مجموعة من الحركات منها حركة الأرض حول نفسها وحركة الأرض حول الشمس وهناك حركة للشمس والأرض داخل مجرة درب التبانة ومجرة درب التبانة تتحرك بالنسبة إلى الكون.. إذا عندما اعتقدت انك ثابت فهذا بالنسبة للأشياء حولك ولكن بالنسبة للكون فكل شيء متحرك. وخذ على سبيل المثال هذه الأرقام ......

سرعة دوران الأرض حول نفسها ربع ميل في الثانية وسرعة دوران الأرض حول الشمس 18 ميل في الثانية والشمس والكواكب تسير بالنسبة لجيرانها النجوم بسرعة 120 ميل في الثانية ومجرة درب التبانة منطلقةفي الفضاء بسرعة تصل إلى 40000 ميل في الثانية. تخيل الآن كم هي سرعتك وعدد الحركات التي تتحركها بالنسبة للكون. وقدر المسافة التي قطعتها منذ بدء قراءة هذه المحاضرة حتى الآن.

لا احد يستطيع أن يحدد هل مجرة درب التبانة هي التي تبتعد عن المجرات الأخرى بسرعة 40000 ميل في الثانية أم إن المجرات هي التي تبتعد عنا بهذه السرعة. فعلى سبيل المثال إذا أراد شخص أن يصف لنا سفره من مطار بغداد إلى مطار دبي الدولي فإنه يقول غادرت الطائرة مطار بغداد في الساعة الثالثة ظهرا واتجهت جنوباً لتهبط في مطار دبي الدولي الساعة السادسة مساءَ.. ولكن لشخص آخر في مكان ما في الكون يرى إن الطائرة ارتفعت عن سطح الأرض في بغداد وأخذت تتباطأ حتى وصلت مطار دبي لتهبط فيه. أو إن الطائرة ومطار دبي تحركا في اتجاهات مختلفة ليلتقيا في نقطة الهبوط.. وهنا يكون من المستحيل في الكون الواسع تحديد من الذي تحرك الطائرة أم المطار.

كذلك يجب أن نؤكد إن الاتجاهات الأربعة شمال وجنوب وشرق وغرب والكلمات فوق وتحت ويمين وشمال هي اصطلاحات لا وجود لها في الكون فلا يوجد تحت أو فوق ولا شمال أو جنوب.

إن التعامل بهذه المفاهيم الجديدة والنظرة الشاملة للكون بلا شك أمر محير ولاسيما إذا أدخلنا البعد الرابع في حساباتنا فكل شيء يصبح نسبي.

مما سبق تبين أن نسبية المكان تخالف كل ما هو مألوف لنا وقد يتسائل القارئ ما أهمية ذلك بالنسبة لنا ونحن نعيش على سطح الأرض وأمورنا كلها مضبوطة على نسق واحد؟ ولماذا هذا الخلط بين ما يحدث على الأرض والكون؟ وما فائدة النسبية لنا كل هذه الأسئلة سيأتي الإجابة عليها من خلال هذه المحاضرات المتتابعة عن النظرية النسبية ولكن قبل ذلك يجب الخوض في نسبية الزمان وهذا سيوضح لنا أن مفهوم الماضي والحاضر والمستقبل هي من الأمور النسيبة أيضا.....

الزمان في النسبية:

لم يكتف آينشتاين بأن أثبت أن المكان نسبي ولكن عمم نسبية المكان على الزمان (البعد الرابع) حيث أنه قال طالما أننا نعيش في عالم ذو أربعة أبعاد ووجد أن الأبعاد المكانية الثلاثة التي تحدد بـ x,y,z هي نسبية لا بد وان يكون الزمان (البعد الرابع) نسبياً أيضا هذا هو آينشتاين الذي يفكر ويضع النظريات ويحلل النتائج في عقله ويخرج للناس بمفاهيم جديدة لم يستطيع احد أن ينفيها ولا أن يبطلها ولا أن يصدقها ولكن كانت نسبية المكان والزمان منذ ذلك الوقت وحتى يومنا هذا تبرهن على صحتها من خلال تفسيرها للعديد من الظواهر الفيزيائية التي حيرت العلماء ولم يكن أمامهمإلا تطبيق نظرية اينشتاين ليجدوها تفسر تلك الظواهر وسيأتي شرح تفصيلي لهذه الظواهر..

اعتبر العلماء ومن بينهم العالم نيوتن أن الزمن مطلق ويجري بالتساوي دون أية علاقة بأي مؤثر خارجي. ولكن اينشتاين لم يتقيد بما سبقه من العلماء وفكر بالأمر من وجهة نظر مختلفة تشمل الكون الفسيح .... كيف ذلك؟؟...

تعودنا نحن سكان الكرة الأرضية على تقدير الزمن من خلال اليوم وأجزائه (الساعة والدقيقة والثانية) ومضاعفاته (الأسبوع والشهر والسنة والقرن) ويومنا هو مقدار الزمن اللازم للأرض لتدور حول نفسها دورة كاملة والسنة هي مقدار الزمن اللازم للأرض لإكمال دورة كاملة حول الشمس وتساوي 365 يوم وربع اليوم. ولكن ماذا عن اليوم والسنة على كوكب عطارد أو كوكب بلوتو لا شك أن ذلك سيكون مختلف بالنسبة لمقاييسنا فالسنة على كوكب عطارد ثلاثة أشهر من الوقت الذي نقيسه على الأرض بينما السنة على كوكب بلوتو فهي اكبر من ذلك بكثير وتساوي 248 سنة من سنوات الأرض.. الأمر عند هذا الحد معقول ولكن ماذا عن المجرات الأخرى كيف تقدر اليوم والسنة عندها؟ وهل يمكن استخدام الأزمنة الأرضية كمقياس للزمن على أرجاء هذا الكون الفسيح؟

ان هذا الكون يحتاج إلى طريقة جديدة لتقدير المسافات بين مجراته ونجومه لأن استخدام وحدة المتر أو الميل ستقودنا إلى أرقام كبيرة جدا لا يمكن تخيلها ولهذا فإن العلماء يستخدمون سرعة الضوء لقياس المسافة حيث أن سرعة الضوء 300 ألف كيلومتر في الثانية

(الضوء يدور حول الأرض 7 مرات في الثانية أي عندما تقول كلمة واحدة يكون الضوء قد لف حول الأرض سبع مرات) وإذا حسبنا المسافة التي يقطعها الضوء في السنة نجد أنها مسافة كبيرة جدا (الأرقام الفلكية) فمثلا نعلم أن أشعة الشمس تصلنا خلال ثمانية دقائق وبهذا يكون بعد الشمس عنا ثماني دقائق ضوئية وهنا استخدمنا وحدة الزمن لقياس المسافة. مثال آخر على اقرب نجم إلى المجموعة الشمسية يسمى ألفا قنطورس يبعد عنا أربعة سنوات ضوئية والنجوم البعيدة في مجرتنا تبعد عنا آلاف السنوات الضوئية ويقدر قطر درب التبانة بـ 80 ألف سنة ضوئية (تخيل أن الضوء الذي يصدر عند احد أطرافها يصل إلى الطرف الآخر بعد ثمانين ألف سنة) كل هذا في مجرتنا وبعض التلسكوبات رصدت مجرات تبعد عشرة ألف مليون سنة ضوئية ذلك يعني أنه إذا وقع حدث ما في طرف الكون فإنه لا يصل إلى الطرف الآخر قبل مرور عشرة آلاف مليون سنة!!! وسنعلم أيضا أن الكون لا زال يتمدد وبسرعات هائلة... سبحان الله ولا نملك إلا أن نقول ذلك..

الأرقاموالأبعاد الفلكية السابقة ضرورية لشرح الموضوع التالي والذي من خلاله سنوضح مفهوم نسبية الزمن لدى آينشتاين.

افترض انك في غرفة مظلمة تماماً وتحرك جسم من مكان إلى مكان آخر في هذه الغرفة فإنك لا تعلم بذلك (على افتراض انك لا تعتمد على حاسة السمع) ولكن في وجود الضوء فإن انتقال الجسم أو حركته ترصدها من خلال انعكاس الضوء من على الجسم المتحرك إلى العين. الضوء هو الوسيلة الوحيدة التي نعلم من خلالها حدوث حدث ما في الكون وهو أسرع وسيلة لنقل المعلومات بين النجوم والمجرات فحدث ما على الشمس نعلم به على الأرض بعد ثمانية دقائق من وقوعه، وانفجار نجم ألفا قنطورس يصلنا خبره بعد أربعة سنوات لان الضوء القادم منه سيصل الأرض بعد أربعة سنوات وكذلك النجوم التي نراها في الليل قد لا تكون موجودة الآن ولكننا نرى الضوء الذي صدر عنها منذ سنوات أوآلاف السنوات حسب بعدها عنا أما التي تبعد عنا ألف مليون سنة ضوئية فإن ضوءها الذي يصلنا الآن يعطينا معلومات عنها قبل ظهور الحياة على الأرض!! هذا يقودنا إلى أن كلمة الآن لا وجود لها إلا على الأرض هذا كله يدركه الناس ولا غرابة فيه لأننا نعلم كم هذا الكون واسع وفسيح.. لم تقف النظرية النسبية عند هذا الحديث فقط بل تعدته إلى القول أن الزمن نفسه لا يجري في الكون بشكل متساوي بل يقصر ويطول حسب سرعتنا ومكاننا بالنسبة للحدث.

وليس المقصود هنا أن ذلك مجرد شعورنا بان الزمن يمر ببطء أو أنه يمر بسرعة حسب مشاعرنا بالسعادة أو التعاسة عندما نقوم بعمل ما. فنسبية الزمن لا تعتمد على شعورنا ومزاجيتنا إنما المقصود في النظرية النسبية أن الساعة الزمنية التي تدل على فترة معينة من الزمن هي التي تطول أو تقصر حسب السرعة والمكان.

لتوضيح هذا الفكرة نفرض أن شخصين لديهما ساعات متماثلة تم ضبطها بدقة، احد الشخصين قرر البقاء على الأرض والشخص الآخر سافر في مركبة فضائية تسير بسرعة كبيرة، فإذا وفرت للشخص الأرضي مرصدا يراقب من خلاله ساعة الشخص الفضائي فإنه كلما زادت سرعة الشخص الفضائي كلما تباطأت حركة عقارب ساعته بالنسبة للشخص الأرضي وإذا ما وصلت سرعة المركبة الفضائية إلى سرعة الضوء فإن الشخص الأرضي سوف يجد أن عقارب ساعة الشخص الفضائي توقفت عن الحركة أي أن الزمن توقف وأصبح صفراً (لا يمكن الوصول بسرعة جسم إلى سرعة الضوء وسنعرف ذلك قريباً) وهذا التباطؤ في ساعة الفضائي ليس بسبب خلل في الساعة إنما نتيجة لسرعته..

إن الأمر لا يقف عند هذا الحد في النظرية النسبية لأن ذلك انعكس على مفهومنا للماضي والحاضر والمستقبل فمثلا انفجار نجم ما قد يكون ماضي بالنسبة لشخص في هذا الكون ويكون حاضر لشخص آخر في مكان آخر وقد يكون مستقبلا بالنسبة لشخص ثالث في مكان ثالث.

وهذا بسبب تباطؤ الزمن. حسب سرعة كل شخص بالنسبة للحدث ومكانه. ولها لا معني للماضي والحاضر والمستقبل إلا على الأرض لان الشريط الزمني المعروف لنا يتباطأ بدرجة معينة في مكان معين في الكون ويتباطأ بدرجة مختلفة في مكان آخر وهكذا..

بعيدا عن النسبية:

اننا نعيش الزمن من خلال تقسيمه إلى ماضي وحاضر ومستقبل وكلنا يستطيع أن يسبح بخياله في أحداث الماضي ويعيش اللحظات الحاضرة بحلوها ومرها ولكن المستقبل فلا قدرة لنا عليه وعلى توقع ماذا سيحدث فيه وذلك لأننا كمخلوقات لله سبحانه وتعالي حجب عنا أحداث المستقبل (كما حجب عنا رؤية الأشعة تحت الحمراء والفوق بنفسجية وحجب عن سمعنا ترددات معينا يمكن لمخلوقات أخرى سماعها لأننا بشر محدودين لكوننا مخلوقات) أما الله سبحانه وتعالى فالأزمنة والأحداث عنده كالكتاب المفتوح. الله يعلم بالماضي والحاضر والمستقبل فهو يعلم ماذا فعلنا وماذا نفعل وماذا سنفعل في أي وقت وفي أي لحظة.

كل ما ذكر في نسبية المكان ونسبية الزمان هو توضيح لمفاهيم وضعها آينشتاين لتكون تمهيدا للدخول إلى النظرية النسبية وفهم مضمونها وعندها ستكون الصورة أوضح.

بعد أن تكلمنا عن نسبية المكان ونسبية الزمان أصبحنا اقرب ما يكون لفرضيات النظرية النسبية

ولكن من الضروري المرور عبر الملابسات التي سبقت ظهور النظرية النسبية وتوضيح التخبط الذي أحاط بالعلماء الفيزيائيين عند عجزهم عن الوصول إلى تفسير مقنع للتجارب التي اعتمدت على الضوء وسنركز على التجربة الشهيرة المعروفة بتجربة ميكلسون مورلي.

سرعة الضوء:

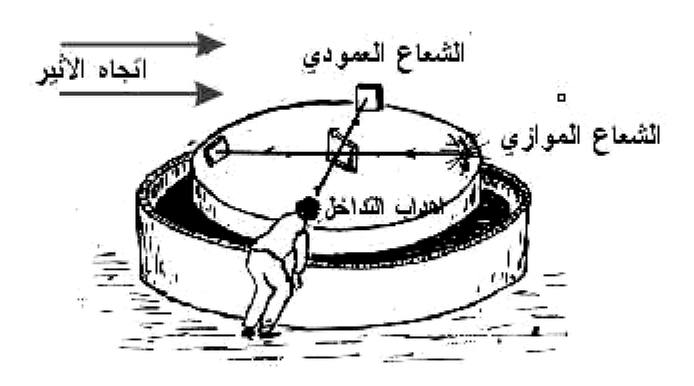
ذكرنا سابقاً أن سرعة الضوء تبلغ 300 ألف كيلو متر في الثانية الواحدة وهذا يعني أنه يمكن للشعاع الضوئي أن يدور سبع مرات حول الكرة الأرضية في الثانية ولذلك لا نستغرب حين نشاهد في إحدى المحطات الفضائية برنامجاً تلفزيونيا ويشاهده في نفس اللحظة أناس آخرون على الطرف الثاني من الكرة الأرضية لأن الإشارات التلفازية تنتقل بسرعة الضوء (لأنها أشعة كهرومغناطيسية مثل الضوء). وبالطبع نحن نسمع صوت الرعد بعد لحظات من رؤية ضوء البرق أو نرى ضوء انفجار قذيفة قبل لحظات من سماع صوتها وهذايعود إلى الاختلاف الكبير بين سرعة الضوء وسرعة الصوت (تبلغ سرعة الصوت 330 متر في الثانية) .

أجرى العلماءالعديد من التجارب لقياس سرعة الضوء ووصلوا إلى القيمة التي ذكرناه سابقاً (300 ألفكيلومتر في الثانية) وهذه السرعة الكبيرة للضوء استخدمت في تقدير المسافات الفلكيةبين النجوم والمجرات لأنه لا يمكن بأي حال من الأحوال الاعتماد على وحدة المترومضاعفاته،

ولذلك إذا قرأت في كتب الفلك ستجد أن وحدة قياس المسافة هي السنة الضوئية وهي المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة والتي تساوي 9460000000000 كيلومتر. لاحظ هنا أن السنة الضوئية هي وحدة زمن ولكن استخدمت لتقدير المسافة أي أن الزمن بعد يضاف إلى الأبعاد الثلاثة x,y,z ولهذا سمي بالبعد الرابع.

الأثير: نعلم أنالصوت ينتقل من خلال موجات اهتزازية تحدث اضطراب في الهواء وبهذا فإن الصوت ينتقل خلال وسط الهواء كما أن الأمواج التي يحدثها حجر اسقط في بركة ماء فإن الاضطراب الذي أحدثه الحجر ينتقل في صورة أمواج اهتزازية خلال جزيئات الماء .الآن ماذا عن الضوء؟ وما هو الوسطالذي ينقله؟ وما هو ذلك الشيء المكون لأمواج الضوء؟.. هذه أسئلة حيرت العلماء وقادتهم أفكارهم إلى افتراض وسط سموه الأثيري ملأ فراغ الكون وقد أعطى العلماء خصائص للأثير بمايناسب تجاربهم، فالأثير له من الخصائص الكثير فمثلا الأثير يخترق جميع الأجساموالنجوم والكواكب التي تسبح فيه. الأثير ينسحب خلف الأجسام الصلبة وازدادت خصائصالأثير مع كل تجربة لا تتفق نتائجها العملية مع المتوقع من الأثير. بذلك اعتبر العلماء الأثير هو الشيء الثابت والمطلق الذي ينقل الضوءمن خلاله وان كل جسم متحرك فهو متحرك بالنسبة للأثير حتى الضوء (أي أن سرعة الأرض مثلا هي سرعتها بالنسبة للأثير وسرعة الضوء هي سرعته بالنسبة للأثير).

تجربة ميكلسون مورلي:



لم يكن العلماء بحاجة إلى تجارب لإثبات فرضية وجود الأثير ولكن تجربة بسيطة تثبت وجود الأثير سيزيد من تثبيت أركان علم الفيزياء. تعتمد فكرة التجربة التي أجراها كلاً من العالمين ميكلسون ومورلي على قياس الفرق في سرعة الضوء بالنسبة للأثير وذلك من خلال جهاز يسير فيه الضوء مسافة معلومة مرة مع تيار الأثيرثم ينعكس على سطح مرآة ويعود ليتداخل مع شعاع ضوئي أخر قد انعكس عن مرآة تبعد نفس المسافة بحيث أن الشعاع الثاني يسير عموديا على اتجاه الأثير. وهذا سوف يحدث تداخل للشعاعين مما ينتج للمشاهد أهداب تداخل عبارة عن مناطق مضيئة ومناطق معتمة تتغيربتغير سرعة الضوء. وبإجراء حسابات بسيطة (سيأتي ذكرها بالتفصيل من خلال محاضرات في النظرية النسبية)

نجد أن الشعاع الضوئي الموازي للأثير يستغرق زمن أطول لإكمال رحلة الذهاب والإياب من الزمن اللازم للشعاع الذي يسير عمودي على الأثير. هذا الاختلاف يتغير إذا أديرت الطاولة التي تحمل التجربة بحيث يصبح الشعاع الموازي للأثير عموديا والشعاع الذي كان عمودي يصبح موازيا للأثير .ما الفائدة من ذلك؟ توقع العلماء عند دوران التجربة بالنسبة للأثير أن يحدث تغيير في الأهداب المتكونة نتيجة للتداخل بين الشعاعين الضوئيين (للاختلاف في الزمن بينهما) بحيث تحل الهدبة المضيئة مكان الهدبة المعتمة وهكذا..إن الفارق الزمني لرحلة الذهاب والعودة للشعاعين يعود إلى فرضية أن الضوء ينتقل في وسط الأثير وبالتالي فإن سرعة الضوء سوف تعتمدعلى سرعة الأرض بالنسبة للأثير وعلى اعتبار أن الأرض تسير بالنسبة للأثير بسرعة مقدارها 30 كيلو متر في الثانية. وعليه يكون من المتوقع أن تختلف سرعة شعاع الضوءالذي يوازي اتجاه الأثير عن الشعاع العمودي عليه...

كانت نتيجة التجربة على غير المتوقع ولم يحدث تغيير في مواقع أهداب التداخل. وأعيدت التجربة مرات عديدة في مناطق مختلفة على الأرض وفي أوقات مختلفة ولكن دائما لم يكن هناك تغيير في مواقع الأهداب الذي كان يتوقعه العالمين من نتائج التجربة أو العلماءالآخرون الذين حاولوا تكرار التجربة.

هذه النتيجةا لسلبية (عدم اتفاق النتائج العملية مع النظرية تسمى نتيجة سلبية) صدمت العلماء فيصحة نظرياتهم الكلاسيكية وتمسك العلماء بفرضية الأثير وجعلتهم يقولون تارة أنالأثير ولا بد وانه يسير مع الأرض وتارة يقولون أن الأجسام تنكمش في اتجاه حركتهاخلال الأثير وغيره من الاعتقادات وذلك لرفضهم فكرة فشل فرضية الأثير وكل ما بنيعليها لسنوات...

وهنا جاء آينشتاين وهو في الخامسة والعشرين من عمره ليبني أسس جديدة للفيزياء سماها النظرية النسبية.....

الآن يمكن الشروع في استعراض مفاهيم النظرية النسبية التي وضعها العالم آينشتاين في عام 1904 وسماها النظرية النسبية الخاصة وفي العام 1916 نشر آينشتاين نظريته النسبية العامة وهنا يجب أن نوضح أن كلا النظريتين هما نظرية واحدة ولكن النظرية النسبية الخاصة تتعامل مع الأجسام المتحركة بسرعة منتظمة (بدون عجلة)، والنظرية النسبية العامة تعالج حركة الأجسام المتسارعة وهي تشمل حركة كافة مكونات الكون من نجوم ومجرات لأنها تتحرك في مسارات دائرية وهذا يعني أن تلك الأجسام لها عجلة تغير من اتجاه مسارها.. ولهذا فإن النظرية النسبية العامة أشمل وأعم وسنتعرض لها بشيء من التفصيل بعد استعراض النظرية النسبية الخاصة..

النظرية النسبية الخاصة

بمحاولة آينشتاين تفسير نتائج تجربة ميكلسون مورلي وضع نظريته النسبية الخاصة في العام 1904. بهذه النظرية غير آينشتاين مفاهيم النظرية الكلاسيكية ليأتي بمفاهيم غاية في الغرابة لم يكن احد من العلماء قد فكر بها وفتح بذلك الأبواب للعلماء لعصر جديد من العلوم الفيزيائية سميت بالعصر الذري وهو الذي نعيشه الآن. فسرت النظرية النسبية العديد من الظواهر الطبيعية في الكون وشكلت قاعدة صلبة راسخة متماسكة.. وحتى يومنا هذا لازالت التجارب المختلفة التي يجريها العلماء تثبت صحة النظرية النسبية. إن النظرية النسبية غيرت مفاهيم كل شيء فخلطت المكان والزمان وجعلت من المطلق نسبي والمستقيم محدب كما كان لها نتائج فلسفية عديدة ولكن سنحاول التركيز على الأمور العلمية.

فروض النظرية النسبية:

قلنا في موضع سابق أن آينشتاين استخدم عقله وتفكيره بشكل شمولي للكون وأمعن التفكير والتأمل ليبني الفرضيات ويجري التحليلات الرياضية بشكل مجرد ويظهرها للعلماء لتطبيقها وهكذا هو الحال بالنسبة للنظرية النسبية حيث وضع آينشتاين فرضيتين لتكون أساسا للنظرية النسبية وطلب من الكل باعتبارها من المسلمات أو البديهيات وهذا ما جعل العلماء رفض الاقتناع بصحة تلك النظرية ولكن هذه النظرية أوجدت تفسيرات وقوانين للعديد من الظواهر الكونية

وفي كل مرة عقدت تجربة لإبطال صحة النظرية النسبية كانت النتائج تؤكد صحتها وتعطي دليلا جديدا على دقتها وشموليتها..

فروض النظرية النسبية هما فرضيتان الأولى متعلقة بالأثير والفرضية الثانية متعلقة بالضوء.

الفرضية الأولى تنفي وجود الأثير لأن حسب نسبية آينشتاين لا يوجد مطلق يمكن إسناد كل شيء إليه مثل ما فعل العلماء بفرضية الأثير.

الفرضية الثانية تقول أن سرعة الضوء في الفراغ ثابتة ولا تعتمد على سرعة المشاهد.

شرح الفرضية الأولى

توضح الفرضية الأولى للنظرية النسبية أن لا وجود للأثير وكان هذا مخالف لكافة العلماء ذلك الوقت... وبفرضية أن الأثير غير موجود فأن المكان المطلق لا وجود له ولا يوجد إلا المكان النسبي والسرعة النسبية. ويوضح اينشتاين ذلك بمثال مركبتين فضائيتين في الكون فلا يستطيع رواد المركبة الأولى من تحديد سرعة مركبتهم إلا بمقارنتها بالنسبة للأجرام المتناثرة حولها أو بالنسبة للمركبة الثانية إذا مرت بالجوار وكذلك الحال بالنسبة للمركبة الثانية وأي شخص يحاول إيجاد سرعة المركبة فإنه سيجدها بالنسبة لسرعة أخرى. وحيث أن كل شيء في الكون يتحرك حركة دائمة ومعقدة فإن أي سرعة تحدد على أساس مقارنتها بسرعة أخرى..

مثال:إذا كنت في سفينة فضائية تسير بسرعة 10 ألاف كيلومتر في الساعة بالنسبة للأرض ولاحظت أن سفينة أخرى تقترب منك وتجاوزت سفينتك فإن أجهزة الرصد لديك سوف تقدر سرعة السفينة التي مرت بقربك على أنها 2000 كيلو متر في الساعة وبما أن سرعتك بالنسبة للأرض معروفة (10 ألاف كيلومتر في الساعة) فإن سرعة السفينة الفضائية الأخرى بالنسبة للأرض ستكون 12 ألف كيلو متر في الساعة.

لاحظ هنا أننا أرجعنا قياساتنا للسرعات بالنسبة للأرض فما بالك لو أننا أصبحنا لا نرى الأرض في هذا الكون الفسيح وان السرعة التي انطلقنا بها تغيرت فكل ما نستطيع قوله هو أن سرعة السفينة الأخرى هو 2000 كيلو متر في الساعة. ولكن هذا الرقم يعبر عن احتمالات عديدة كأن تكون أنت واقف والسفينة مرت عنك بسرعة 2000 كيلو متر في الساعة أو أن تكون أنت متحرك بسرعة 1000 كيلو متر في الساعة وهي بسرعة 3000 كيلو متر في الساعة أو أن تكون تلك السفينة واقفة وأنت متحرك في اتجاه الأرض بسرعة 2000 كيلو متر في الساعة وهكذا . وهذا يعني أنك بحاجة إلى شيء ثابت ليرشدك على من هو المتحرك وكم هي سرعتك واتجاهك ولهذا اسند العلماء كل ذلك إلى الأثير ليهربوا من حقيقة النسبية.. ولكن آينشتاين لم يهرب من الاعتراف بأن الأثير وَهم .... واقر بأن كل حركة نسبية.

ماذا عن السرعة على الأرض؟ نذكر هنا ما قاله العالم نيوتن بأننا لا نعرف سفينة تتحرك في البحر أم واقفة بأي اختبار نجريه داخل السفينة ويجب علينا أن نلجأ لاختبارات تصلنا بخارج السفينة. كأن نراقب من على سطحها حركة الماء أو حركة الجبال لنحدد ما إذا كانت متحركة أم ثابتة أو هل هي تقترب من الشاطئ أم تبتعد عنه.

كما أننا عندما نقول أن سرعة السيارة 100 كيلو متر في الساعة فهذا يكون بالنسبة للأرض فإذا لم نجد ما الشيء الذي نقيس بالنسبة له فحديثنا عن السرعة لا معنى له كما لا يمكننا باستخدام كل وسائل التكنولوجيان معرفة ما إذا كنا نتحرك أو لا.. لأن كل حركة نسبية ولا يمكن أن نتكلم عن حركة مطلقة.

شرح الفرضية الثانية

لم يكن من الصعب فهم المقصود بالفرضية الأولى للنظرية النسبية بالرغم من صعوبة قبول هذه الفرضية من قبل العلماء في ذلك الوقت لأن العديد من الظواهر التي قابلت العلماء فسرت على أساس وجود الأثير ونسب كل شيء إليه، ولهذا كان من الصعب الاعتراف بفشل فرضية الأثير وهدم كل استنتاجاتهم، فحاول الكثير من العلماء إثبات خطأ النظرية النسبية. أما الفرضية الثانية والمتعلقة بثبات سرعة الضوء ثابتة في الفراغ مهما تغير مكان المشاهد أو الراصد لسرعة الضوء.

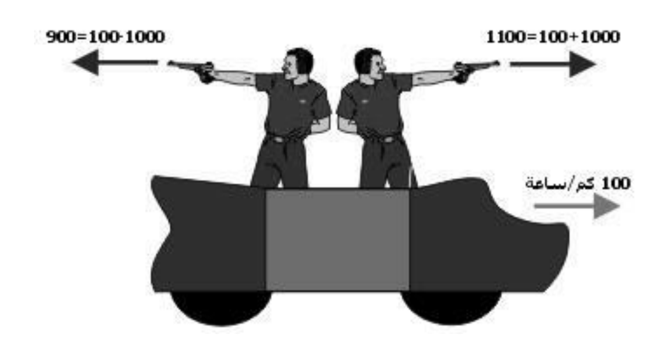
لتوضيح الجملة الأخير سوف نضرب مثالين من واقع الحياة اليومية.

مثال (1)

عندما نكون في سيارة سرعتها 100 كم/ساعة فإننا نرى الأجسام الثابتة وكأنها هي التي تتحرك بنفس السرعة وفي الاتجاه المعاكس. ولكن عندما تأتي سيارة من الاتجاه المعاكس تسير بسرعة 100 كم/ساعة فإن سرعتها بالنسبة لنا تكون 200 كم/ساعة (لا حظ هنا أننا جمعنا السرعتين في حالة اقتراب السيارة منا)، وإذا تجاوزنا سيارة سرعتها 80 كم/ساعة نقيس سرعتنا بالنسبة لهذه السيارة على أنها 20 كم/ساعة (لاحظ هنا أننا طرحنا السرعتين في حالة ابتعادنا عن السيارة الأخرى). وإذا كانت السيارة الأخرى تسير بنفس سرعة سيارتنا فإننا نقيس سرعة تلك السيارة بالنسبة لنا على أنها صفر أي أنها ثابتة بالنسبة لنا.

مثال (2)

لنفرض سيارة تسير بسرعة 100 كم/ساعة كما في الشكل وقام شخص بإطلاق رصاصة من مسدس في اتجاه حركة السيارة علماً بأن سرعة الرصاصة بالنسبة للمسدس هي 1000 كم/ساعة ثم استدار نفس الشخص وأطلق رصاصة أخرى في اتجاه معاكس لحركة السيارة.



فإذا ما قام شخص على الطريق وقاس سرعة الرصاصة في الحالة الأولى سيجد أنها 1100 كم/ساعة وفي الحالة الثانية سيجد سرعة الرصاصة 900كم/ساعة. وهذا يعود إلى أن سرعة السيارة تجمع مع سرعة الرصاصة في الحالة الأولى وتطرح منها في الحالة الثانية. هذا التسلسل المنطقي للموضوع محسوس لنا ونعرفه جيداً ولا غرابة في ذلك ولكن ماذا يحدث إذا استبدل المسدس بمصدر ضوئي هنا يتدخل آينشتاين ويقول أن الوضع مختلف فسرعة الضوء تبقى ثابتة في كلا الحالتين وتساوي 300 ألف كم/الثانية وهذا لا يتغير مهما بلغت سرعة السيارة ولو فرضنا جدلاً أن السيارة تسير بسرعة الضوء فإن الضوء المنبعث من المصباح سينطلق أيضا بنفس سرعة الضوء.

بالطبع هذا غريب على مفاهيمنا ويتحدى آينشتاين بذلك مفاهيم العلماء السابقين ويقول لهم عندما سألوه كيف يمكن تصديق هذا ((ما العمل إذا كان هذا هو من قوانين الكون الأساسية؟)) لم يتوصل آينشتاين لهذه الفرضية بإجراء التجارب وتحليل النتائج أنما توصل إليها بعد طرح أسئلة لنفسه حول ثبات الكون والتفكير فيه ليصل إلى هذه الفرضية التي طلب من العلماء التسليم بها ليبنوا عليها العديد من التفسيرات للظواهر الكونية. ولكن العلماء كانوا بحاجة إلى أدلة وبراهين للاقتناع بهذه الفرضية فقام الفلكيون برصد الضوء الواصل إلى الأرض من أحد النجوم في الفضاء وكان الهدف من هذه التجربة إثبات خطأ فرضية ثبات سرعة الضوء. وذلك بالاعتماد على أن النجم عندما يدور حول مركزه يكون مرة مبتعد عنا ومرة أخرى يكون النجم مقترب منا. وعلى هذا الأساس توقع العلماء أن يرصدوا سرعتين مختلفتين للضوء في حالة اقتراب النجم وابتعاده (توقع العلماء أن تكون سرعة الضوء وهو مقترب أكبر منها وهو مبتعد). ولكن المراصد الفلكية لم تقيس أي تغير في سرعة الضوء.

تفسير تجربة ميكلسون مورلي على أساس النظرية النسبية:

نعود الآن لتجربة ميكلسون مورلي والتي كانت نتائجها العملية مخالفة للحسابات النظرية المبنية على فرضية الأثير وقلنا أن النتائج كانت سلبية ولم يتمكن العلماء من إيجاد تفسير علمي مناسب مهما عدلوا في فرضية الأثير وأضافوا عليه من الخصائص التي ذكرنا بعضا منها.

وبتطبيق فروض النظرية النسبية نجد أن المعضلة محلولة لان الأثير غير موجود أصلا وان سرعة الضوء لا تتغير في أي اتجاه. وهذا إثبات آخر لصحة النظرية النسبية.

التمدد الزمني :

وصف حدث في النسبية

قبل البدء في مناقشة النتائج المترتبة عن النظرية النسبية الخاصة، يجب ان نوضح بعض المفاهيم الاساسية لكيفية قيام شخص (سنطلق عليه مراقب) برصد حدث ما في الفراغ. المراقب هو شخص يمتلك آلات علمية دقيقة ليقوم برصد الحدث. وتحديد ابعاده المكانية x• وابعادهالزمنية t• .

الحدث هو أي شيء تحت الدراسة من قبل المراقب وللحدث بداية ونهاية. مثل سقوط كرة الى الارض، فبداية الحدث هو بدأ سقوط الكرة ونهاية الحدث هو وصول الكرة إلى الأرض.

محاور الاسناد وهي الاحداثيات المعروفة (x,y,z) التي تحدد موقع الحدث بالنسبة للمراقب، ولكل مراقب محاور اسناد خاصة به.

فمثلا وانت جالس في الغرفة الآن فإنك تستخدم احد اركان الغرفة لتجعلها محاور اسناد لك تستخدمها في وصف الاحداث وتحديد موقعها.

اما اذا كنت في سيارة تسير بسرعة v فإن محاور اسنادك تكون ثابتة بالنسبة لحدث ما في السيارة لأن بداية الحدث ونهايته لم تغير من الأبعاد المكانية، أما بالنسبة لشخص خارج السيارة فإن الحدث داخل السيارة يعتبر متحرك بالنسبة له لأنبداية الحدث ونهايته كانتا في مكانين مختلفين بالنسبة لذلك المراقب.

مثال

لنخذ على سبيل المثال حدث يتمثل في انفجار قنبلة على مكان ما على سطح الأرض هذا الحدث له ابعاد مكانية وابعاد زمنية تحدد بواسطة المراقب الذي يقوم برصد ذلك الحدث.

لنفرض أن هنالك مراقبين كان احدهما ثابت والاخر متحرك بسرعة v بالنسبة للحدث. كلا المراقبين يمتلك آلات دقيقة لا تخطئ لرصد الحدث وذلك لتحديد الابعاد المكانية والزمنية للحدث.

المراقب الثابت قام برصد الابعاد المكانية والزمنية للحدث لتحديد بداية الحدث (انفجار القنبلة) وتحديد نهاية الحدث (نهاية الانفجار). وبما أن هذا المراقب كان ثابتاً بالنسبة للحدث فإنه يقيس التغير في الابعاد المكانية على انها صفر لأنه لم يتحرك خلال الحدث اما بالنسبة للابعاد الزمنية فإنه يقيسها على أنها t• وهي الفترة الزمنية التي استغرقها الحدث. أما بالنسبة للمرااقب المتحرك فكانت احداثياته (ابعاده) المكانية بالنسبة للحدث متغيرة بمقدار\Δx وكذلك يقيس الابعاد الزمنية على انها \Δt.

في المثال السابق قام مراقبين برصد الحدث (انفجار القنبلة) وكانت النتيجة أن كل منهما حدد الفترة الزمنية للحدث. فكانت للمراقب الثابت t• وللمراقب المتحرك \Δt وفي حياتنا العادية تكون الفترة الزمنية المقاسة للحدث متساوية لكافة المراقبين، ولا يكون هناك فرق بين قياسات زمن الحدث عند المراقب الثابت أو عند المراقب المتحرك. ولكن هذا لا يتفق مع آينشتين ولا نظريته النسبية حيث أنه يثبت أن الزمنيين المقاسين بواسطة المراقب الثابت والمتحرك يختلف وأن المراقب المتحرك يقيس زمن الحدث أكبر من المراقب الثابت، ولذلك يعتبر المراقب الثابت ان ساعات المراقب المتحرك تؤخر ولهذا اطلق عليها آينشتين التأخير الزمني Timedilation.

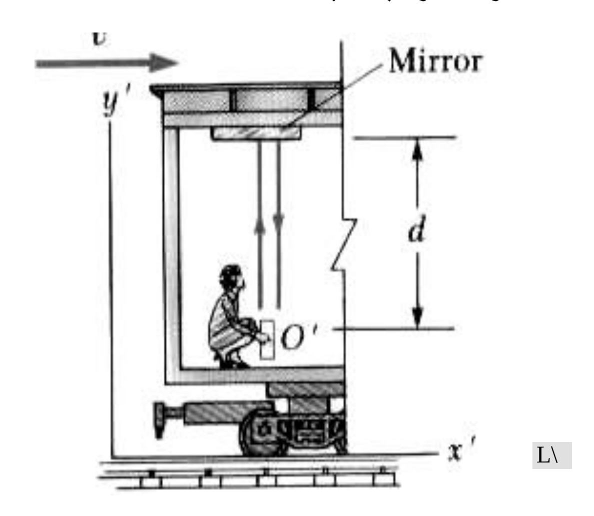
نسبية الزمن (التمدد الزمني):

لتوضيح المقصود بالتأخير الزمني نستخدم التجربة التي استخدمها آينشتاين لتوضيح الفكرة حيث أعتبر وجود نبضة ضوئية تنطلق من ارضية قطار يتحرك بسرعة v إلى لتسقط على مرآة مثبتة في سقف القطار على ارتفاع وتنعكس لتعود على أرضية القطار.

بداية الحدث هو انطلاق النبضة الضوئية من أرضية القطار.

نهاية الحدث هو عودة النبضة الضوئية إلى ارضية القطار بعد انعكاسها على سطح المرآة.

افترض وجود مراقبين أحدهما داخل القطار O\ وهو الثابت بالنسبة للحدث والآخر خارج القطار O وهو المتحرك بالنسبة للحدث.



قياسات المراقب الثابت O\:

المراقب O\ سوف يقيس الزمن اللازم للحدث على أنه المسافة المقطوعة مقسوما على سرعة الضوء. لاحظ هنا ان المراقب O\ ثابت بالنسبة للحدث وذلك الإحداثيات المكانية له لم تتغير بين بداية الحدث ونهايته كما هو موضح في الشكل المقابل.

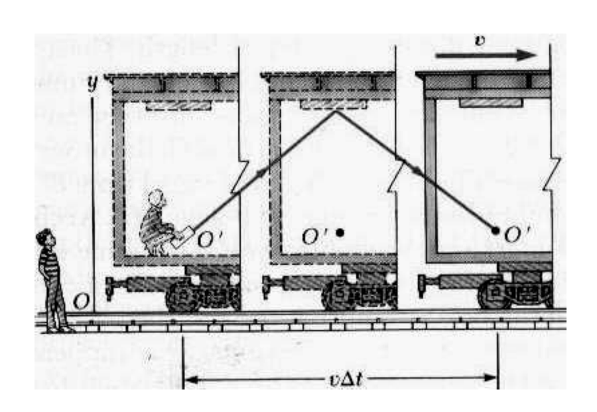
المسافة المقطوعة هي ضعف ارتفاع السقف (L\ 2) وتكون الفترة الزمنية للحدث بالنسبة للمراقب O\ على النحو التالي: الزمن = المسافة \ السرعة أي ان:

$$t^{\backslash} = \frac{2L^{\backslash}}{C} \qquad \text{--------}(1)$$

قياسات المراقب المتحرك O :

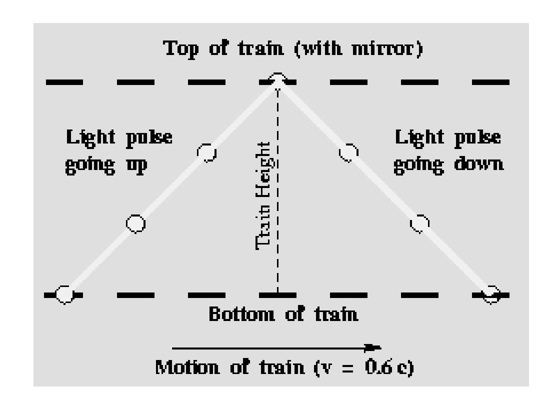
المراقب O يجري قياساته ولكن هو متحرك بالنسبة للحدث (أو أن الحدث متحرك بالنسبة له) حيث أن بداية الحدث ونهايته تحدثان في مكانين مختلفين بالنسبة للمراقب O كما في الشكل. فخلال الفترة الزمنية التي استغرقها الحدث يكون القطار قد تحرك إلى اليمين مسافة v t. حيث t زمن الحدث الذي يقيسه المراقب O. يوضح الشكل المقابل مسار النبضة الضوئية بالنسبة للمراقب O. وهنا يكون مسار النبضة الضوئية أطول من مسارها بالنسبة للمراقب \O.

من الفرضية الثانية للنظرية النسبية تكون سرعة النبضة الضوئية ثابتة بالنسبة للمراقبين وتساوي سرعة الضوء C. وحيث أن المسار الذي يسلكه الضوء بالنسبة للمراقب O أطول من المسار للمراقب \O فإن الزمن الذي يقيسة O يكون أكبر من الزمن الذي يقيسه \O.



العلاقة الرياضية بين قياسات المراقب O\ والمراقب O :

لنعتبر أن الخط الأسود يحدد مسار الضوء كما يرصده المراقب O\ والخط الاسود المتقطع هو المسار الذي يرصده المراقب O. لكي يقطع الضوء المسافة من ارضية القطار الى المراة في سقف القطار يستغرق نصف الزمن الكلي أي (t/2). من المثلث الأيسر يمكن تطبيق نظرية فيثاغورس وباعتبار L\ هو ارتفاع سقف القطار على النحو التالي:



ونحل المعادلة لايجاد الفترة الزمنية t

$$\left(\frac{ct}{2}\right)^2 = \left(\frac{vt}{2}\right)^2 + L^{\backslash 2} \Rightarrow \frac{c^2t^2}{4} = \frac{v^2t^2}{4} + L^{\backslash 2}$$

$$\Rightarrow \frac{c^2t^2}{4} - \frac{v^2t^2}{4} = L^{\backslash 2} \Rightarrow \frac{t^2}{4}\left(c^2 - v^2\right) = L^{\backslash 2}$$

$$\Rightarrow t^2\left(c^2 - v^2\right) = 4L^{\backslash 2} \Rightarrow t^2 = \frac{4L^{\backslash 2}}{\left(c^2 - v^2\right)}$$

$$\Rightarrow t^2 = \frac{\left(2L^{\backslash}\right)^2}{c^2\left(1 - v^2/c^2\right)} \Rightarrow t^2 = \frac{\left(2L^{\backslash}\right)^2/c^2}{\left(1 - v^2/c^2\right)}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2L^{\backslash}/c}{\sqrt{\left(1 - v^2/c^2\right)}}$$

---------------------- (2)

ومن المعادلة (1)

$$t^{\backslash} = \frac{2L^{\backslash}}{C}$$

نحصل على العلاقة الرياضية بين القياسات الزمنية لكل مراقب.

----------- (3)

$$t = \frac{t^{\backslash}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma .t^{\backslash}$$

حيث ان :γ = $1/\sqrt{(1-v^2/c^2)}$

وتمثل المعادلة رقم (3) معادلة تمدد الزمن حسب النظرية النسبية لاينشتاين:

ملاحظات :

(1) حيث أن السرعة التي يسير بها القطار لا يمكن ان تصل إلى سرعة الضوء لذا يكون المقدار • اكبر من الواحد : •> 1

ولهذا تكون القياسات الزمنية لمراقب O أكبر من O\: t\<t

(2) في حالة السرعات العادية مثل سرعة سيارة او سرعة طائرةأو سرعة صاروخ فإن هذه السرعة تعتبر صغيرة جداً بالمقارنة بسرعة الضوء أي c>>v وهذا يجعل المقام في المعادلة رقم {3} يساوي 1 وتكون هنا القياسات لكلا المراقبين متساوية، بمعنى آخر أن التأخير الزمني لا يمكن قياسه إلا في حالة السرعات التي تقارن بسرعة الضوء.

(3) نستنتج أن في حالة السرعات الكبيرة تكون ساعات المراقب المتحرك بالنسبة للحدث تقيس زمن اطول من ساعات المراقب الثابت بالنسبة للحدث.

(4) سوف نعتبر الزمن الحقيقي proper time لحدث ما هو الزمن الذي يقيسه المراقب الثابت بالنسبة للحدث.

معضلة التوائم :

مثال/ التوأم A يقلع في مركبة فضائية عن عمر 20 سنة ليسافر بسرعة (v = 0.99 c) في الفضاء بالنسبة لتوأمه الاخر B والباقي على الارض . فاذا عاد المسافر بعد 10 سنوات فكم سيكون عمر كل منهما ؟

الحل / من المعادلة رقم (3) فان:

$$t = \frac{t^{\backslash}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow \frac{t}{t^{\backslash}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow \frac{t}{t^{\backslash}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.99^2 c^2/c^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{t}{t^{\backslash}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.99^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.98}} = \frac{1}{\sqrt{0.02}} = \frac{1}{0.14} = 7$$

وبما ان حساب العشر سنوات هي من التوأم A الموجود في السفينة اذن سيكون عمر التوأم B على الارض زاد بمقدار (70 = 10 X 7) سنة أي سيكون

عمر التوأم A = 20 + 10 = 30 سنة

عمر التوأم B = 20 + 70 = 90 سنة

واجب بيتي/ رائد سفينة فضائية يترك الارض بسرعة (0.9 c) يعمل رحلة ذهاب واياب الى اقرب نجم وهي التي على بعد 4 سنوات ضوئية ، كم سيكون الرائد اصغر من اخيه التوأم الموجود على الارض عند رجوعه ؟ (اذكر الجواب بالسنة والشهر واليوم)

تقلص الطول (تقلص لورنس)

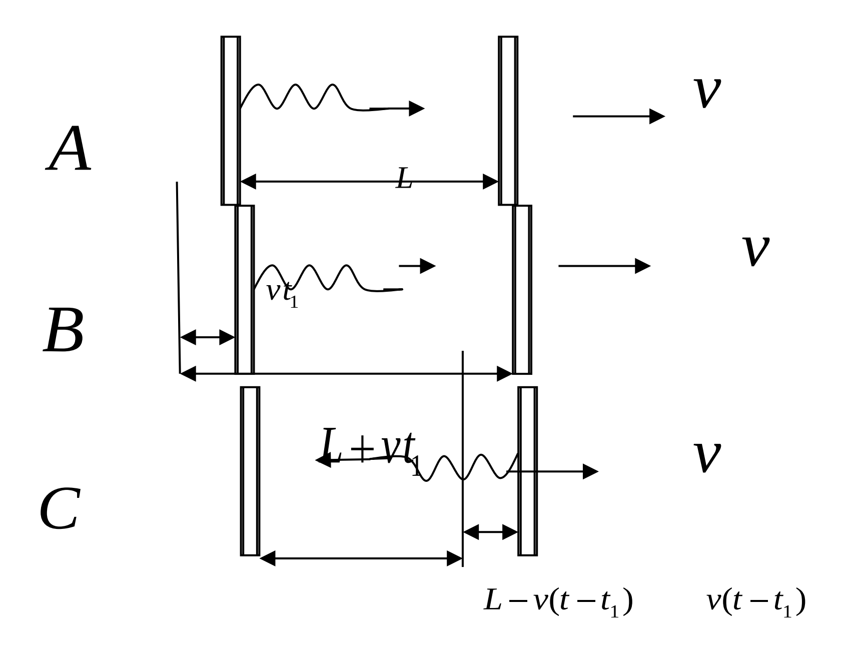
نسبية الطول (الإنكماش الطولي):

كما وجدنا في الموضوعات السابقة أن الفترة الزمنية بين حدثينهو نسبي وتعتمد على محاور اسناد المراقب، وكذلك وجدنا أن حدوث حدثين في نفس اللحظة هو امر نسبي أيضاً لان نفس اللحظة لمراقب تكون غير ذلك لمراقب آخر متحرك بسرعة بالنسبة للحدثين. في هذا الموضوع سنجد أيضا ان الطول أو المسافة بين نقطتين هي من الأمور النسبية وتعتمد على محاور اسناد المراقب الذي يقيس المسافة.

في البداية سنعرف الطول الأصلي properlengthعلى انه الطول الذي يقيسه المراقب الثابت بالنسبة للجسم المراد قياس طوله أو الثابت بالنسبة للنقطتين المراد تحديد المسافة بينهما. ولا يعني الطول الاصلي بأنه المسافة التي يقيسها المراقب بين نقطتين في نفس اللحظة. حيث تثبت النظرية النسبية الخاصة أن الاجسام تنكمش في اتجاه حركتها. وهنا لا نقصد بالانكماش الناتج عن تغير درجات الحرارة أو غير ذلك، وولكن الانكماش هنا يعتمد فقط على سرعة الجسم بالنسبة للمراقب الثابت مهما كانت نوع مادة الجسم.

اشتقاق معادلة تقلص الطول (تقلص لورنس):

تصور ان هناك ساعة ضوئية مكونة من مراتين المسافة بينهما (L) موضوعة في مركبة فضائية سرعة هذه المركبة (v) بحيث ان الاشارة الضوئية للساعة تسير ذهابا وايابا بموازاة خط سير المركبة الفضائية (شكل A ادناه).



تبدأ الاشارة من المراة الخلفية في زمن مقداره (t = 0) وتصل الى المراة الامامية في زمن مقداره (t = t1) وبذلك تقطع الاشارة مسافة مقدارها (ct1)(لماذا؟) ، في حين تبتعد المراة الامامية مسافة مقدارها(vt1) خلال نفس الفترة الزمنية (شكل B اعلاه). عليه يكون:

$$ct_1 = L + vt_1 \Rightarrow ct_1 - vt_1 = L \Rightarrow t_1(c - v) = L$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{L}{c - v} ------------------(1)$$

بعد ان تصل الاشارة المراة الامامية تنعكس لتصل المراة الخلفية عند زمن (t) وبذلك

تقطع مسافة مقدارها { (c(t-t1 } حيث ان :

$$c(t - t_1) = L - v(t - t_1)$$

حيث { (v(t-t1 }تمثل المسافة التي تقطعها المراة الخلفية نحو الشعاع المنعكس خلال

الفترة الزمنية (t-t1)(شكل C اعلاه) .

$$c(t - t_1) + v(t - t_1) = L \Rightarrow (t - t_1)(c + v) = L$$

$$\Rightarrow t - t_1 = \frac{L}{c + v}$$

$$\Rightarrow t = \frac{L}{c + v} + t_1 ....(2)$$

حيث ان (t) يمثل الزمن الكلي لحركة الاشارة الضوئية ذهابا وايابا

نعوض المعادلة (1) في (2) نحصل على :

$$t = \frac{L}{c+v} + \frac{L}{c-v} = \frac{L(c-v)+L(c+v)}{(c+v)(c-v)} = \frac{Lc - Lv + Lc + Lv}{c^2 - v^2}$$

$$= \frac{2Lc}{c^2 - v^2} = \frac{2Lc/c^2}{(c^2 - v^2)/c^2} = \frac{2L/c}{\frac{c^2}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t = \frac{2L/c}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (3)$$

ومن اشتقاق تمدد الزمن عندنا المعادلة (2) وفحواها

$$t = \frac{2L'/c}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

عليه ومن تعويضها في معادلة (3) اعلاه نحصل:

$$\frac{2L/c}{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L^{\backslash}/c}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \frac{L}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = L^{\backslash}$$

$$\Rightarrow L = L^{\backslash}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$or\ \frac{L}{L^{\backslash}} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

والمعادلة رقم (4) تمثل تقلص لورنس

ويكون الطول L أقل من الطول\L الذي يقيسه المراقب \O حيث أن المقدار تحت الجذر يكون دائماً أفل من الواحد.

مثال:

جسم يسير بسرعة (0.9c) ما هي نسبة تقلص طوله الى الطول الاصلي عند السكون؟

الحل:

$$\frac{L}{L^{\backslash}} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{(0.9c)^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{(0.9)^2 c^2}{c^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{L}{L^{\backslash}} = \sqrt{1-0.81} = \sqrt{0.19} = 0.436$$

$$\Rightarrow \frac{L}{L^{\backslash}} = 0.436 * 100\% = 43.6\%$$

إذن سيقصر طوله بنسبة 43.6% من طوله الأصلي عند السكون

ملاحظة :

ان الضوء الذي يصل الكاميرا او العين من اجزاء الجسم البعيدة ينبعث في وقت اسبق من وقت انبعاث الضوء من اجزاء الجسم القريبة ولذلك فان الصورة المتكونة في الكاميرا تكون مركبة.

الاشعة الصادرة من اجزاء الجسم المختلفة لتكوّن الصورة في لحظة معينة تصدر من الجسم عندما يكون الاخير في مواضع مختلفة ، هذه الظاهرة تؤدي الى تمدد الطول الظاهري للجسم باتجاه حركته ، ونتيجة لهذا فان جسم ذا ثلاث ابعاد كمكعب يمكن ان يشاهد منحرفا ومتغير الشكل بمقدار يعتمد على زاوية النظر و النسبة (v/c) . وعليه فان شكل جسم متحرك يظهر مختلفا عن شكله في حالة السكون ولكن بطريقة مختلفة.

واجب بيتي :

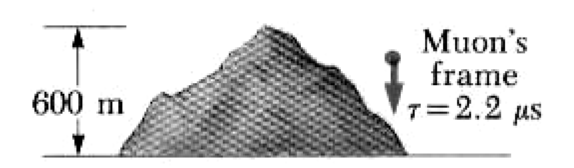
سفينة فضائية طولها على الأرض (100 m) أصبح طولها عند الطيران (99 m) ، جد سرعة السفينة ؟

ظاهرة علمية لم تفسر إلا من خلال التأخير الزمني

انحلال الميونات (الميزونات):

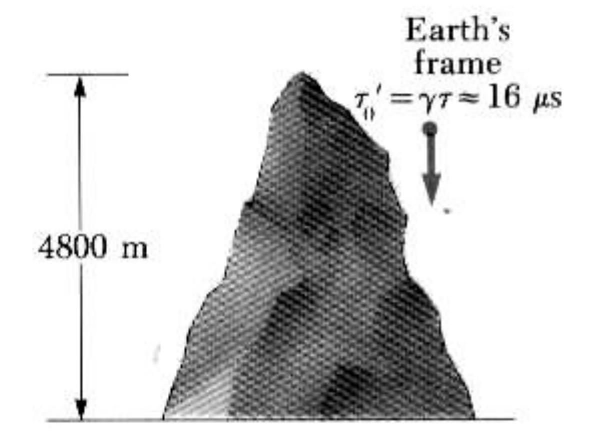
التأخير الزمني ظاهرة حقيقية وتم اختبار صحتها من خلال العديد من التجارب العملية. ونستشهد هنا بالتجربة التي جرت على جسيمات أولية تدعى ميونز muons (الجسيمات الأولية مثل الألكترون والبروتون والنيوترون والكوارك وجسيمات بيتا).

الميون (أو الميزون) هو جسيم غير مستقر من الجسيات الأولية يحمل شحنة تساوي شحنة الألكترون وكتلته تعادل 207 كتلة الألكترون (يتحول إلى الكترون بعد فترة زمنية محددة). تنتج هذه الميونات في طبقات الغلاف الجوي العليا نتيجة لامتصاص الغلاف الجوي الأشعة الكونية. هذه الميونات لها متوسط عمر يساوي (t\ = 2*10-6 s) كما قيست في المختبر وسرعةتقريبا بحدود (2.994*108 m/s) أي(0.998 c) ، أي أن المراقب (العالم في المختبر) الذي حدد زمن بقاء هذه الجسيمات كان ثابت بالنسبة لتلك الجسيمات.



فإذا علمنا أن هذه الجسيمات تسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء ومن عمر بقائها يمكن حساب المسافة التي يمكن ان تقطعها في الغلاف الجوي باتجاه الكرة الارضية. وهذه المسافة تقدر بـ 600 متر وهذه المسافة قصير جدا بالنسبة لسمك الغلاف الجوي ولا يمكن بالتالي من أن تصل هذه الجسيمات إلى سطح الأرض.

y = v t\ = 2.994*108 m/s X 2*10-6 s = 600 m



المراصد الأرضية رصدت وجود هذه الميونات على سطح الأرض.. السؤال الآن كيف وصلت هذه الميونات إلى سطح الأرض وهذا يعني أنها قطعت مسافة 4800 متر مما يتعارض مع كون عمرها (2*10-6) ثانية تقريبا.

ظاهرة التأخير الزمني لديها الحل في تفسير وصول هذه الجسيمات لسطح الأرض حيث أن الجسيمات تسير بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن زمن بقائها يكون أطول بالنسبة للمراقب على الأرض وبالتعويض في معادلة تقلص الطول (معادلة 4) يكون عمر الميونات بالنسبة للمراقب على الأرض 16 ميكروثانية. وهذا يفسر وصول تلك الميونات إلى سطح الأرض.

$$\frac{y}{y^{\backslash}}=\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow y^{\backslash}=\frac{y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=\frac{600m}{\sqrt{1-\frac{(0.998c)^2}{c^2}}}=\frac{600m}{\sqrt{1-\frac{0.996c^2}{c^2}}}=\frac{600m}{\sqrt{1-0.996}}$$

$$=\frac{600m}{\sqrt{0.004}}=\frac{600m}{0.063}=9500m$$

وعليه بالرغم من قصر عمر الميونات يمكن لهذه الجسيمات ان تصل سطح الارض من ارتفاعات عالية جدا.

تجارب أخرى جرت على الميونات في العام 1976 في مختبرات CERN بجنيفا وذلك بتعجيل ميونات منتجة في المختبر إلى سرعات تصل إلى 99% من سرعة الضوء وتم قياس عمر بقاء هذه الميونات قبل أن تتحول إلى الكترونات وكانت نتائج القياسات منطبقة تماماً مع معادلة التأخير الزمني.

نسبية اللحظة:

لاحظنا في الموضوع السابق أن الزمن نسبي ويعتمد على محاور اسناد المراقب بالنسبة للحدث كما وان المراقب المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء بالنسبة للحدث يجد أن الزمن المقاس يتباطئ عنه بالنسبة للمراقب الثابت بالنسبة للحدث. وهذا يعود إلى الفرضية الثانية للنظرية النسبية في ثبات سرعة الضوء في كافة الأتجاهات.في الموضوع الحالي سوف نتعرض إلى موضوع جديد وهو نسبية اللحظة أو الآنية.. فكثيراً ما نقول أن حدثين ما قد حدثا في نفس اللحظة وهذا لا يختلف عليه اثنان كان يرصدا هذين الحدثين. ولكن آينشتين من خلال نظريته النسبية يبين لنا أن ذلك نسبياً أيضاً فحدثين آنيين بالنسبة لمراقب (الفارق الزمني بينهما صفر) قد يكون غير ذلك بالنسبة لمراقب متحرك. ولتوضيح ذلك نأخذ المثال التالي:

مثال:

لنفترض قطار طويل جدا يبلغ طوله (5400000 كيلومتر) يسير في خط مستقيم بسرعة منتظمة تبلغ (240000 كيلومتر في الثانية). ولنفترض ان مصباحاً ضوئيا اوقد في منتصف القطار في اللحظة الزمنية التي تقابل فيها المراقب O' داخل القطار والمراقب O على الرصيف. ولنفترض أنه يوجد باب الكتروني في مقدمة القطار وباب آخر في مؤخرة القطار يفتحا تقائيا عند وصول النبضة الضوئية. ما الذي سيراه كلا من المراقب O' داخل القطار والمراقب O خارج القطار.

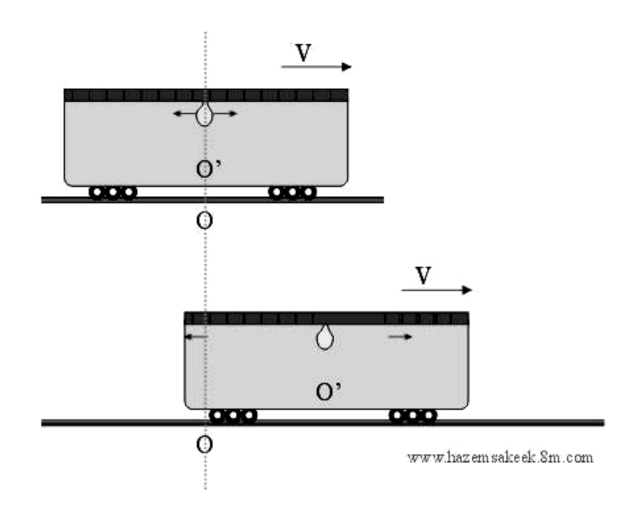
بما أن الضوء ينتشر في الفراغ بسرعة ثابتة وهي 300000 كيلومتر في الثانية لكل المراقبين مهما بلغت سرعتهم بالنسبة لبعضهم البعض أو بالنسبة للضوء.

بداية الحدث انطلاق الضوء من المصباح المثبت في وسط القطار.

نهاية الحدث وصول الضوء إلى باب القطار الأمامي والخلفي.

وصف ما يراه المراقب الثابت O\:

حيث أن المراقب O\ هو المراقب الثابت بالنسبة للحدث لأن مكانه لم يتغير بين بداية الحدث ونهايه، لذا فإنه سيرى أن الباب عند مقدمة العربة سيفتح في نفس الوقت الذي يفتح فيه الباب عند مؤخرة العربة أي ان البابين يفتحا في نفس اللحظة بالنسبة للمراقب O\. ويقيس الفترة الزمنية لوصول النبضة الضوئية للباب الأمامي بقسمة نصف طول القطار على سرعة الضوء فتكون النتيجة تسعة ثواني وكذلك الحالة للزمن المقاس للنبضة الضوئية لتصل إلى الباب الخلفي. وبهذا يرى المراقب O\ أن البابين يفتحا معا بعد 9 ثواني.....(لماذا؟)



قياسات المراقب المتحرك O:

المراقب O يرى الحدث بطريقة مختلفة فالضوء ينتشر بالنسبة له بسرعة ثابتة ن الباب الخلفي يقترب من الضوء في حين الباب الأمامي يبتعد عنه بسرعة القطار (240000 كيلومتر في الثانية). ولهذا يرى المراقب O أن الباب الخلفي يفتح أولاً ثم بعد فترة زمنية يفتح الباب الأمامي دلالة على أن الضوء وصله. وبالتالي لا يكون حكمه على الحدث أنه في نفس اللحظة.

المراقب O يقيس الزمن اللازم لوصول النبضة الضوئية للباب الخلفي زمن الوصول للباب الخلفي

$$= \frac{5400000/2}{300000 + 240000} = 5\sec$$

ويقيس الزمن اللازم لوصول النبضة الضوئية للباب الأمامي =

زمن الوصول للباب الأمامي

$$= \frac{5400000/2}{300000 - 240000} = 40\sec$$

إذا فسيبدو للمراقب O على الرصيف أن بابي القطار لم يفتحا في نفس اللحظة. ففي البداية سيفتح الباب الخلفي للقطار بعد زمن 5 ثواني من انطلاق النبضة الضوئية بينما الباب الأمامي فلن يفتح إلا بعد مضي (45-5 =40) 40 ثانية.

وبهذا فإن الحدثين المماثلين، أي فتح بابي القطار الامامي والخلفي لمراقب يكونا في آن واحد. أما لمراقب آخر فإنهما يبدوان منفصلين بفترة زمنية.

تحويلات لورنس :

لنفترض اننا في مرجع s نرى حدثا يقع في اللحظة t عند النقطة x , y ,z ..... ومشاهد اخر في المرجع s\ يتحرك بسرعة ثابتة مقدارها v بالنسبة ل s ، يرى نفس الحدث في اللحظة t\ والنقطة x\ , y\ , z\ .

وبعد الاشتقاق نجد ان العلاقة التي تربط بين (x\ , y\ , z\ , t\ )و (x , y , z , t) هي :

$$x^{\backslash} = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y^{\backslash} = y$$

$$z^{\backslash} = z$$

$$t^{\backslash} = \frac{t + \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

هذه التحويلات تسمى تحويلات لورنس:

مقلوب تحويلات لورنس :

ولايجاد العلاقات التي تربط بين القياسات المأخوذة في المرجع s بدلالة القياسات في \s

نحصل بعد الاشتقاق على مايسمى مقلوب تحويلات لورنس الآتية :

$$x = \frac{x^{\backslash} + vt^{\backslash}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y = y^{\backslash}$$

$$z = z^{\backslash}$$

$$t = \frac{t^{\backslash} + \frac{vx^{\backslash}}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

جمع السرع :

احدى فرضيات النسبية الخاصة تنص على ان سرعة الضوء c في الفراغ تاخذ نفس القيمة بالنسبة لجميع المراجع ، من غير ان تعتمد على سرع المراجع النسبية . ومن ناحية اخرى تشير توقعاتنا الحدسية الى ان كرة تقذف بسرعة (20 m/s الى الامام) من سيارة متحركة بسرعة(50 m/s الى الامام) تكون سرعتها بالنسبة للارض (70 m/s) أي انها تساوي مجموع السرعتين . وحسب هذا التقدير ، اذا كانت سرعة شعاع ضوئي باتجاه حركة المرجع \s ، والمتحرك بسرعة v بالنسبة لمرجع ثاني s ، هي c فان سرعة الشعاع بالنسبة للمرجع s يجب ان تساوي c + v . لذلك لا تتفق تقديراتنا الحدسية في جميع الظروف مع الفرضية الثانية للنسبية الخاصة ! ولايجاد الصيغة الصحيحة لجمع السرع وباستخدام تحويلات لورنس نحصل على :

$$V_x = \frac{V_x^{\backslash} + v}{1 + \frac{v V_x^{\backslash}}{c^2}}$$

$$V_y = \frac{V_y^{\backslash} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v V_x^{\backslash}}{c^2}}$$

$$V_z = \frac{V_z^{\backslash} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v V_x^{\backslash}}{c^2}}$$

مثال/ أفترض ان شعاعا ضوئيا ينبعث باتجاه \x بسرعة c بالنسبة للمرجع \s ، جد سرعة الشعاع بالنسبة للمرجع s ؟ الحل/ في هذه الحالة Vx\ = c من المعادلة اعلاه نستطيع ان نجد Vx وتساوي:

$$V_x = \frac{V_x^{\backslash} + v}{1 + \frac{v V_x^{\backslash}}{c^2}}$$

$$= \frac{c + v}{1 + \frac{vc}{c^2}}$$

$$= \frac{c(c+v)}{c+v} = c$$

أي ان سرعة الضوء في كلا المرجعين لها نفس القيمة:

مثال/ صاروخك الفضائي يجتاز بسرعة 0.6c سفينة فضائية تسير بالنسبة للارض بسرعة 0.9c ، جد سرعة صاروخك الفضائي بالنسبة للارض؟

الحل/

$$= \frac{1.4c}{1 + \frac{0.54c^2}{c^2}} = \frac{0.5c + 0.9c}{1 + \frac{(0.9c)(0.6c)}{c^2}} = \frac{1.4c}{1.54} = 0.9091c$$

$$V_x = \frac{V_x^{\backslash} + v}{1 + \frac{v V_x^{\backslash}}{c^2}}$$

ظاهرة دوبلر:

ظاهرة دوبلر من الظواهر الفيزيائية المعروفة والتي نلاحظها في حياتنا العملية حينما تمر سيارة إسعاف أو سيارة الإطفاء مسرعة وبينما يصدر عنها صوت الإنذار فإننا نسمع ترددات مختلفة بينما تكون السيارة مقتربة منا او مبتعدة عنا وهذا الصوت يختلف تردده عن التردد الذي يسمعه سائق السيارة لأنه يكون ثابت بالنسبة للصوت، ومن هذا يمكن تعريف ظاهرة دوبلر على إنها إزاحة للتردد نتيجة للحركة النسبية بين المصدر والمراقب. فعندما يكون المصدر مقترب من المراقب يكون التردد المقاس أعلى من التردد الأصلي أي مزاح ناحية الترددات الأعلى بينما يكون التردد اقل من التردد المقاس أي مزاح ناحية الترددات الأقل إذا كان المصدر مبتعدا عن المراقب. وظاهرة دوبلر تعتمد على السرعة النسبية بين المصدر والمراقب.

إذا كنا نتعامل مع تردد الأمواج الصوتية الصادرة عن حركة سيارة او طائرة حيث تكون السرعات اقل بكثير من سرعة الضوء فإننا نتحدث عن ظاهرة دوبلر الكلاسيكية أما إذا كنا نتعامل مع الأمواج الكهرومغناطيسية التي تنتشر بسرعة الضوء فإننا نتحدث عن ظاهرة دوبلر النسبية..

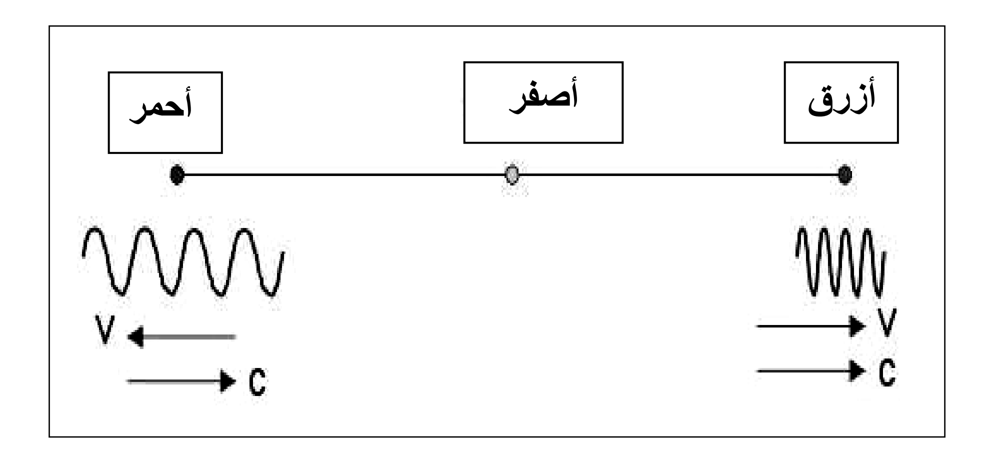
ظاهرة دوبلر النسبية:

يستخدم الفلكيون ظاهرة دوبلر في قياس سرعة النجوم والمجرات بالنسبة للأرض وإذا كانت مقتربة منا أو مبتعدة عنا من خلال قياس تردد الأشعة الكهرومغناطيسية الصادرة عن النجوم ومقارنتها بتلك الترددات الصادرة عندما تكون في المختبر أي ثابتة بالنسبة للمراقب.

في حالة التعامل مع سرعات قريبة من سرعة الضوء فإن ظاهرة دوبلر الكلاسيكية لا تأخذ في الحسبان فرضيات النظرية النسبية في ان سرعة الضوء ثابتة بالنسبة لجميع محاور الاسناد. ولهذا سنقوم باستخدام معادلات التغير في التردد في حالة السرعات الكبيرة .

تجربة عملية للتوضيح :

عند قياس التردد الأصلي للمبة الصوديوم في المختبر (اللمبة التي تستخدم لإنارة الطرق في الليل والتي يكون الضوء المنبعث عنها بين الأصفر والبرتقالي). فإذا ما ثبتت اللمبة على مركبة فضائية مبتعدة عنا بسرعة قريبة من سرعة الضوء فإن ترددها المقاس سوف يكون اصغر من التردد الأصلي ويكون لون الضوء المنبعث في هذه الحالة قريبا من اللون الأحمر. أما إذا كانت المركبة الفضائية مقتربة منا فإن الضوء المنبعث عنها يكون ذو لون ازرق وهذا يعود إلى ان التردد المعدل اكبر من التردد الأصلي.



إذا كان المصدر مقترباً منا فإن التردد المقاس يكون اكبر من التردد الأصلي ويحدث ما يسمي بالانزياح ناحية الأزرق Blue Shift أي يزاح اللون ناحية الترددات الأعلى.

وإذا كان المصدر مبتعد عنا فإن التردد المقاس يكون اقل من التردد الأصلي ويحدث ما يسمى بالانزياح ناحية الأحمر Red Shift أي يزاح اللون ناحية الترددات الأقل.

وهذا ما يحدث في الطبيعة حيث يوجد نجم الكويزار Quasar وهو نجم بعيد جداً يبتعد عنا بسرعة كبيرة فإذا ما كان الضوء المنبعث من النجم ناتج عن احتراق غاز الهيدروجين ومن المعروف أن الطول الموجي لطيف الهيدروجين مقاس في المختبر بدقة. فإذا ما قورن بالطول الموجي القادم من نجم الكويزار والمقاس بواسطة التلسكوبات الأرضية فقد وجد أن التردد المقاس إلى التردد الأصلي في المختبر كالنسبة 1\3

وهذا يعني أن التردد المقاس اصغر من التردد الأصلي أي ان النجم مبتعد عنا وأن سرعة النجم في عكس سرعة الضوء القادم لنا أي أن نجم الكويزار يبتعد.

عندما يكون المصدر مقترباً من المراقب فان:

$$\frac{f}{f^{\backslash}} = \frac{\lambda^{\backslash}}{\lambda} = \frac{1+B}{\sqrt{1-B^2}} = \sqrt{\frac{1+B}{1-B}}$$

عندما يكون المصدر مبتعداً عن المراقب فان:

$$\frac{f}{f^{\backslash}} = \frac{\lambda^{\backslash}}{\lambda} = \frac{1-B}{\sqrt{1-B^2}} = \sqrt{\frac{1-B}{1+B}}$$

حيث أن f= التردد ، λ= الطول الموجي ، B = v/c

نسبية الكتلة :

إن قياسات الكتلة كما هو لقياسات الطول و الزمن تعتمد على السرعة النسبية بين المشاهد وما هو تحت المشاهدة.

وان كتلة جسيم متحرك (m) بسرعة (v) بالنسبة لمشاهد تكون اكبر من كتلته السكونية (mo)بنسبة($\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$)...... أي ان (m > mo)

وعليه فان علاقة كتلة جسم متحرك بكتلته السكونية هي :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

فمثلا صاروخ منطلق بالنسبة للأرض يبدو اقل طولا وأكثر كتله من صاروخ مشابه له ثابت على الأرض.

قانون حفظ الزخم في النسبة الخاصة هو:

$$mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

إن القوة المسلطة على جسم دائما تساوي سرعة تغير زخمه.

يمكن ملاحظة الزيادة النسبية في الكتلة فقط عندما تقترب سرعة الجسم من سرعة الضوء.

أكتشف بوهر في عام 1908 بان نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته (e/m)هي اصغر للالكترونات السريعة مما هي عليه للالكترونات البطيئة.

ان كتلة البروتون هي (mp = 1.67 * 10-24g = 1.67 * 10-27kg).

ان كتلة الإلكترون هي (me = 9.1 * 10-28g = 9.1 * 10-31kg).

علاقة الكتلة بالطاقة:

اذا كانت الطاقة الحركية للجسم(T) و الطاقة السكونية له هي(Eo=moc2) والطاقة الكلية هي(E=mc2) فان:

E = Eo + T

&

$$T = E - Eo = mc2 - moc2 = (m - mo) c2$$

أن المعادلات أعلاه تنص على أن الطاقة الحركية(T) للجسم تساوي الزيادة في كتلته (نتيجة الحركة) مضروبة في مربع سرعة الضوء.

بالإضافة الى اشكال الطاقة المتعارف عليها كالطاقة الحركية والكامنة والكهرومغناطيسية والحرارية ، هذه الطاقة يمكن ان تظهر على شكل كتلة .

ثابت التناسب بين الطاقة المقاسة بالجولات والكتلة المقاسة بالكيلوغرامات هو c2 أي 2(108*3) أي (1016*9) .

أي ان كتلة كيلوغرام واحد من المادة نحوي على طاقة مقدارها (J 1016*9) حتى ان جزءَ صغيرا من المادة يكافئ كمية هائلة من الطاقة . وفي الحقيقة ان تحويل المادة الى طاقة هو مصدر الطاقة المتحررة من التفاعلات الكيميائية والفيزيائية .

وبما ان الكتلة والطاقة كميتان يعتمد بعضهما على بعض فان قانون حفظ الطاقة وقانون حفظ المادة هما في الحقيقة قانون واحد ((يمكن خلق او فناء كتلة على شرط ان تفنى او تخلق كمية مكافئة من الطاقة في نفس الوقت او بالعكس)). أي ان الكتلة والطاقة هما مظهران لنفس الشيء.

عندما تكون السرعة (v) واطئة بالنسبة لسرعة الضوء (c) فان الطاقة الحركية للجسم يجب ان تاخذ الصيغة المعتادة (T = 1/2 mv2).

الفصل الثاني والعشرون

النَّظريّة النِّسبيّة الخاصّة

علم الميكانيك هو ذلك العلم الذي نراه أينما نظرنا على الأرض في السماء وفي أجسامنا أيضاً وقد استمرَّ علم الميكانيك محدوداً حتى ولادة شيءٍ جديد اسمه النظرية النسبية حيث قلبت موازين الميكانيك رأساً على عقب و أظهرت شذوذاً خارقة للطبيعة سواءَ في سرعة الضوء أو في تمدد الزمن وارتباط الكتلة بالطاقة ...

ينقسم الميكانيك إلى ميكانيك كلاسيكي تحكمه قوانين نيوتن بشكل أساسي وميكانيك نسبي تحكمه قوانين النظرية النسبية و الفرق بينهما أن الميكانيك النسبي يتعلق بالسرعات الهائلة ما يقارب سرعة الضوء أما الميكانيك الكلاسيكي فيتعلق بالسرعات الصغيرة و المتوسطة التي تحصل في الحياة اليومية كسرعة سيارة مثلاً لذا لا يمكن تطبيق قوانين النسبية على سيارة بسرعة عادية و بالمقابل لا يمكن تطبيق قوانين الحركة التي تطبق على السيارة ونستعملها لجسم يتحرك بسرعة الضوء لأنه جسم نسبي في هذه الحالة , و لكن ضمن تقريب السرعات الصغيرة تتطابق قوانين نيوتن مع النسبية.تعتبر النظرية النسبية الخاصة التي وضعها العالم أينشتاين في عام 1905 أساسا لكل علوم الفيزياء الحديثة و التكنولوجيا المتقدمة و تعتبر من أعظم الإنجازات العلمية للعقل البشري.

إشكالية البحث:

من أهم أشكال النظرية النسبية تمدد الزمن و هكذا إن هناك علاقة ما بين النسبية والسفر بين الأزمان ,فهل يمكن السفر وتكرار حدث ما؟؟؟

ما مدى صحة الموضوع كتجربة؟؟؟

إننا في الحاضر ولكننا إن ذهبنا إلى الوراء وغيرنا الأحداث فهل يتغير فعلاً ويؤثر على الواقع ؟؟؟

وبما أننا لم نتمكن حتى الآن من جعل جسم يتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء ,كيف يمكننا الاستفادة من النظرية النسبية ؟؟؟

و في دراستنا للنظرية النسبية سوف نتعرض لمفهوم الطول و الزمن و السرعة و كمية الحركة و الطاقة وانية حدوث الأشياء وهي بالطبع تختلف عن المفاهيم التيسبق و أن أتت بها الميكانيكا الكلاسيكية فليس هناك طول مطلق أو زمن مطلق عند نيوتن.

شرح النظرية النسبية الخاصة

المبحث الأول: مبادئ النظرية النسبية

سميت النظرية بالنسبية الخاصة لأنها تتعلق بالقوانين الطبيعية المطبقة في مناطق تتحرك بحركات منتظمة ,فخصصت الحركات بالانتظام . أو قيدت بالانتظام لذا تسمى أحياناً ((بالنظرية النسبية المقيدة)) ويمكن وضع هذه الأسس تحت مبدأين هامين هما:

المبدأ الأوّل: إن سرعةالضوءثابتة في جميع اتجاهات الفضاء ولها القيمة نفسها بالنسبة لجميع المراقبين،ولا تعتمد على الحركة النسبية بين المراقب ومصدرالضوء.

ومعنى ذلك أنه يمكننا أجراء تجربة فيزيائية معينة في مكان ساكن ونحصل على نفس النتائج تماما لو كان هذا المكان متحرك بسرعة منتظمة، طالما أننا طبقنا نفس القوانين الفيزيائية في الحالتين. ويعرف هذا المبدأ بمبدأ نسبية الحركة و هو يعتبر أساس للميكانيكا الكلاسيكية.

المبدأ الثاني: سرعة الضوء في الفراغ مقدار ثابتة لا تعتمد على المرجع القصوري أو على المصدر أو على الراصد.

أي بمعنى أن قوانين الفيزياء تأخذ الشكل نفسه في جميع هياكل الإسناد العطالية ،حيث أن السرعة والاتجاه ثابتين .فكل قانون يتم إثباته في هيكل إسنادعطالي يكون صحيحًا في أي هيكل عطالي آخر و هو أساس الاختلاف بين الفيزياء الكلاسيكية و الفيزياء الحديثة.

قبل مجيء النظرية النسبية كان يفترض وجود زمان ومكان مطلق ولهما القيمة نفسها بالنسبة إلى جميع المراقبين وقد برهن آينشتاين على أنه لا يمكن اعتبارالزمان والمكان شيئين مستقلين عن بعضهما وعن المراقب، بسبب ثبات سرعة الضوء في جميع الأوساط. و هنا تشكلت لدينا الأبعاد الأربعة حيث الأبعاد المكانية معروفة الطول و العرض و الارتفاع أما البعد الرابع فهو البعد (الزماني) وهذه الأبعاد لتعيين هيكل إسنادي عطالي.

الضوء ينتشرعلى شكل أمواج و بقيت مشكلة هي أن الضوء ينتقل لذلك افترض العلماء مادة سموها الأثير(Ether) وبينما كانوا يتحدثون عن الأثيركان لابد من إثبات وجوده والفكرة بسيطة :إذا كان الأثيرموجوداً فلابد للأرض أن تنتقل خلاله كما تنتقل الطائرة خلال الهواء، أي بتشبيه الأثير بالهواء يجب تواجد نوع من الرياح الأثيرية حول الأرض , وإذا طبقنا قوانين نيوتن على الضوء فإن سرعةالضوء سوف تكون أعظم فيما لوكان الضوء يتجه نحوالناظر.

إنَّ هذين القانونين هما القانونان الرئيسيان في النظرية النسبية وتقوم عليهما هذه النظرية العميقة.

المبحث الثاني: تباطؤ الزمن

لقد استطاع العالم أينشتاين في بدايات القرن السابق (1905) من وضع النظرية النسبية التي استطاعت أن تزيل تلك المتناقضات التي نشأت من قصور النظرية الكلاسيكية.وتعد هذه النظرية واحدة من أعظم الإنجازات في القرن العشرين. وقد اشتهرت هذه النظرية بصعوبتها و في الواقع هذه الصعوبة لا ترجع إلى صعوبة المعالجة الرياضية لموضوعات هذه النظرية و لكن يرجع إلى وجوب إعادة النظر في مفاهيمنا عن الكثير من الأشياء مثل الزمن و الحركة و السكون و السرعة ...

لنفرض وجود هيكلين عطاليين(جسمان لكل منهما ثقل معين) نسبة السرعة بينهما تقارب سرعة الضوء فهنا يتباطأ الزمن بمعدل معامل الانكماشB :

$$B = \sqrt[2]{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

حيث Vسرعة الجسمين أما C فهي سرعة الضوء التي تساوي حوالي

Km/h300000000

مثال: عند سفررائد فضاء إلى نجم بعده 12.5 سنة ضوئية بسرعة ثابتة تساوي 0.999 من سرعة الضوء ثم العودة إلى الأرض يكون قدمضى على الأرض 25 سنة، ولكن عمر رائد الفضاء يكون قد زاد بمقدار سنة واحدة.

وهكذا نجد أنَّ هناك علاقة وثيقة بين سرعة الضوء و تباطؤ الزمن وهي علاقة سببية حيث أن حركة الجسم بسرعة تقارب سرعة الضوء تؤدي إلى أشياء عديدة منها تباطؤ الزمن .

المبحث الثالث: تغيرات الطول والكتلة

تخيل أنَّك مسافر في قطار تصل سرعته إلى 80% من سرعة الضوء مثلاً سوف ترى رصيف محطة القطار أقصر مما يراه الواقف على الرصيف وكذلك الواقف على الرصيف سوف يرى القطار أقصر مما تراه وأنت تركب القطار وهذا ما يعرف بتقلص الطول

إذاً يمكن أن نقول إن انطلاق جسم ما بسرعة قريبة من سرعة الضوء ينتج عنها تقلص في الطول بالنسبة للجسم المنطلق, وتقلص الطول أو هذا الانكماش الظاهري لطول الجسم المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء يعد من تنبؤات النظرية النسبية الخاصة.

يتقلص الطول بمقدار الجداء بالعامل B, وتعرف هذه الظاهرة بتقلص لورنتز،ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{L = L'.B}$$

$$B = \sqrt[2]{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

L: الطول في هيكل إسنادي متحرك بالسرعةv .

L: الطول مقاسا في هيكل إسنادي أخر.

استطاع العالم لورنتزفي عام 1903 من وضع صياغة جبرية تحدد مقدارهذا الانكماش حيث السرعة تساوي سرعة الضوء.

لقدأصبح من الضروري إدخال معدل الانكماش هذا عند تحويل القياسات من منظومة مرجعية إلى أخرى عند تحرك الجسم بسرعة مقاربة لسرعة الضوء.

وهذا الانكماش الخفي هوالسبب في بقاء سرعة أشعة الشمس ثابتة سواء أكانت حركة الأرض في اتجاه الشمس أوتبتعدعنها.

تنبأت النظرية النسبية بأن الكتلة ليست ثابتة، ولكنها تزداد مع زيادة السرعة النسبية بين الكتلة والراصد وفقا للعلاقة التالية:

$$M=\frac{M\prime}{\sqrt{I-\frac{V^2}{C^2}}}$$

ومن ذلك يتبين أنه لايمكن لجسم عطالي - حتى لو كانت كتلته صغيرة كالإلكترون- أن يتحرك بسرعة الضوء لأن كتلته تصبح لانهائية .

وتقتصرهذه السرعة على الجسيمات عديمة الكتلة كالفوتونات على سبيل المثال.

المبحث الرابع: E=M.C2

E=M.C2 علاقة شهيرة في الفيزياء النسبية وضعها ذلك العبقري الرائع أينشتاين و شكلت لغزاً محيراً للعلماء و الفيزيائيين وككل النظريات فقد قام أينشتاين باستنتاج هذه العلاقة بدءاً من فرضية و انتهاءَ باستنتاج صحيح نسبياَ.

ويمكن شرح هذه العلاقة بالمثال الآتي: في الانشطار النووي تكون كتلة مجموع القوى الناتجة عن هذا الانشطار أقل من كتلة المواد الداخلة في الانشطار وترتبط الطاقة الناتجة Eعن الانشطار بفرق الكتلةmΔ وفق العلاقة:

وقد بين هذا القانون مصدرطاقة الشمس لأنها لو كان لها مصدر طاقة لكانت قد بردت منذ طويل ولكنها لا تبرد بسبب تحولات المادة إلى طاقة, وها هنا جاءت فكرة القنبلة الذرية حيث تستمد طاقتها من المواد التي بداخلها وكانت فتحاً كبيراً في فيزياء الطاقات العالية.

لا يوجد جسم عطالي وصل إلى سرعة الضوء حتى الآن ولذا فإن هذه الفرضية غير مثبتة تجريبياً و لا يمكن الحكم بصحتها عملياً لأنَّ الجسم الذي يتحرك بسرعة الضوء تتناقص كتلته حتى تنعدم.

المبحث الخامس:P=m .v

و تسمى m في هذه الحالة بالكتلة النسبية للجسم، و حسب التعريف تكون الكتلة النسبية هي تلك الكمية الفيزيائية التي يجب ضربها في متجه السرعة v لكى تعطى متجه كمية الحركة P.

بشرط أن يكون مجموع كمية الحركة Σ P لنظام معزول كمية ثابتة (محفوظ). و لقد وجد انه لكى نحافظ على قانون بقاء كمية الحركة صالحا في الفيزياء النسبية يستلزم أن نطبق تحويلات لورنتز للسرعة و يجب أيضا أن تؤول كمية الحركة النسبية العلاقة

$$\vec{P} = m_0 \ \vec{v}$$

(1) الى كمية الحركة الكلاسيكية والتي تعطى من:

حيث $m0$ هي الكتلة عند سرعات صغيرة حيث($v < C$) و ذلك بتطبيق مبدأ التناظر أو بمعنى آخر (الدليل الذي يرشدنا عن الطريقة التي تتناظر بها النظرية التي ندرسها مع النظرية الأقل عمومية) وينص على أن:(أي نظرية فيزيائية جديدة أيا كانت مواصفاتها لابد وأن تؤول إلى النظرية الأقل عمومية منها كحالة خاصة من الأولى). ولكي يتحقق ذلك سوف نكون أمام خيار و حيد و هو مبدأ الكتلة النسبية، أي بصدد التعامل مع كتلة الجسم على أنها كمية ليست ثابتة ولكنها تعتمد بطريقة ما على سرعة الجسم و تتغير بتغيرها.

أبعاد النظرية النسبية

المبحث الأوّل: نيوتن وأينشتاين أين يتفقان وكيف يختلفان؟

إن ميكانيك أينشتاين النسبي أوجد لكي يجد حلولاً لظواهر غريبة كتمدد الزمن على سبيل المثال و تمدد الزمن الذي ينافي قوانين نيوتن يوافق النسبية تماماً.

القوانين الرئيسية لنيوتن هي الجاذبية الأرضية وقوانين الميكانيك الأول والثاني والثالث الشهيرة وينص الأول على أنَّ الأجسام متحركة بسرعة ثابتة تبقى على حالها مالم تؤثر عليها قوى خارجية, وينص الثاني على أنَّ مجموع محصلات القوى المؤثرة على جسم تساوي الكتلة بتسارع الحركة أما الثالث فينص على أن لكل فعل رد فعل مساوِ له بالقوة ومعاكس له بالاتجاه.

يمكننا إعادة صياغة قانون نيوتن الثاني من وجهة نظرالنظرية النسبية الخاصة. حيث ينص هذا القانون على أن مقدارالتغيرفي كمية الحركة يساوى القوة المؤثرة.

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{dmv}{dt}$$

ومن وجهة نظرالفيزياء الكلاسيكية أن السرعة هي فقط التي تعتمد على الزمن ولكن من دراستنا السابقة للنظريةا لنسبية وجدنا أن كل من السرعة والكتلة تتغيرمع الزمن،ولذلك تأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي (من وجهة نظر النسبية):

$$F = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt}$$

ولنفرض أننا أردنا الانتقال ما بين قوانين نيوتن وأينشتاين وجب علينا أن نغير العناصر البنيوية الأساسية التي يتألف منها قوانين العالم الذي تنطبق عليه فمن العبث مثلاً أن نبحث عن تفسير لظاهرة اضطرابات حركة القمر عن طريق النسبية.

ولنعرض الفرق بين نسبية يوتن ونسبية أينشتاين حيث قصد نيوتن عدم تغير القوانين الميكانيكية في أي منطقة عن الأخرى أما أينشتاين فقد قصد عدم تغير قوانين الطبيعة إطلاقاً ميكانيكية أو ضوئية أو كهربائيةأو حتى مغناطيسية .

المبحث الثاني: البعد الرابع ... الزمنT

فسرت النظرية النسبية العديد من الظواهر من مثل تمدد الزمن عند المسير بسرعة تقارب سرعة الضوء حيث يتباطأ الزمن عند التحرك بهذه السرعات فالوقت المقاس يختلف باختلاف الأطر المرجعية كما تختلف الفترات الزمنية بين حدثين.

الأدلة التجريبية على حقيقة تمدد الزمن:

استطالة الوقت ظاهرة حقيقية تم التحقق من وجودها بالعديد من الأدلة لعل من أبرزها

1- وجود الميونات muons على سطح الأرض. و الميونات هي جسيمات أولية غير مستقرة لها شحنة تساوى شحنة الإلكترون و كتلتها أكبر من كتلة الإلكترون ب 207 مرة و تنتج من الأشعة الكونية في طبقات الجو العليا و فترة عمر النصف لها 2.2 ميكروثانية إذا قيست بساعة في إطارها المرجعي (أي ساعة تتحرك مع الميونات).

إذا قسنا فترة عمر النصف بساعة على الأرض سنجد أنها تساويt γ و بذلك تكون فترة عمر النصف طبقا للساعة الأرضية 15.59 ميكروثانية والمسافة التى يقطعها الميون خلال تلك الفترة هي 4631.82 m و هي مسافة كافية لكى يصل إلى سطح الأرض قبل أن تتحول كتلته إلى طاقة.

قام العالمان جوزيف هافل و ريتشارد كيتنج بوضع مجموعة من الساعات الذرية، و الساعة الذرية هي ساعة تصل دقتها إلى 1012 من الثانية و هي تستخدم كمقياس معيارى للوقت و تستخدم فيها ذرات السيزيوم داخل طائرة ركاب. و طافت هذه الطائرة مرتين حول الأرض و كان الهدف من ذلك هو اختبار صحة ظاهرة تمدد الزمن. وقد حصل العالمان على نتائج تتوافق مع المعادلة الآتية مما يؤكد ظاهرة تمدد الزمن.

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/C^2}} = \gamma\, t_0$$

إمكانية تطبيق النظرية النسبية

كان آينشتاين بمفرده مسؤولاً عن اكتشاف النظرية النسبية كما أنه لعب دوراً هاماً في ميكانيكا الكم, ولكنه انزعج بشدة بسبب أبحاث هايزنبرغ وبول ديراك و شرودينغر والذين أنشأوا صورة جديدة للواقع تقوم على مبدأ الارتياب و ينص على أنه من غير الممكن قياس كل من موضع الجسم وسرعته بدقة تامة في الوقت نفسه, فكلما زادت الدقة في قياس أحد المقدارين تناقصت الدقة في قياس الآخر .

أي أن هناك دائماً عنصر من الارتياب أو عدم اليقين مما روّع آينشتاين من هذا العنصر العشوائي في القوانين الأساسية. و قد عبر آينشتاين عن مشاعره في رسالة بعث بها إلى ماكس بورن :(أنت تؤمن بإله يلعب النرد و أنا أؤمن بقانون ونظام كاملين) لذا من غير الممكن تطبيق النظرية النسبية بشكل متناهٍ في الدقة بسبب الارتياب بالرغم من تأكيد أينشتاين وجود بعض القوانين الكاملة تماماً.

المبحث الأول: السفر عبر الزمن....هل هو حقيقة أم محض خيال؟؟؟

السفر عبر الزمن ... هل هو حقيقة؟؟؟ أم أنه قصة من قصص الخيال الذي اخترعته المخيلات الخصبة للمبدعين من البشر؟؟؟ أسئلة تطرق عقول الفيزيائيين والباحثين في النظريات الفيزيائية وهل يمكن إثبات واقعيتهاأو نفيها بواسطة النسبية ؟؟؟

في الواقع...نعم يمكن التوصل إلى نتيجة باستعمال النسبية ...

لنأخذ مثالاً على جسم يتحرك بسرعة الضوء حقيقةً ..الفوتونات تلك المملكة العظيمة التي تسكن معنا كلما أشعلنا النور إنها موجودة في الواقع ولكنها لم تكن حين كان المصباح مطفأً منذ مدة.. إذاً هي لا تسافر عبر الزمن إلى الماضي وبالمقابل حين نطفئ الضوء لا نتمكن من رؤيتها فهي لا تسافر إلى المستقبل بتاتاً ...

هذا بالنسبة لجسم معدوم الكتلة .. و لكن ماذا عن الجسم العطالي ذو الكتلة هل يمكن له التحرك بالسرعات القريبة من سرعة الضوء بالتأكيد لا.. لأن الجسم العطالي له كتلة معينة وعند تحركه بسرعة الضوء تتحول كتلته إلى طاقة

أثر النسبية على ولادة ميكانيكا الكم

في بداية القرن العشرين وضعت نظريتان جديدتان هما النظرية النسبية الخاصةو العامة-التي اكتشفها أينشتاين بعد الخاصة- وميكانيكا الكم حيث تتعامل النسبية مع المكان والزمان وكيفية انحنائهما على المدى الواسع تحت تأثير المادة و الطاقة في الكون أما ميكانيكا الكم فيتعامل مع عالم الصغريات ورغم وجود ذلك الارتياب الذي تحدثنا عنه وافق معظم العلماء على صحة قوانين الكم الجديد و هي الأساس للتطورات في الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزئية وعالم الإلكترونيات , وكانت أساس التكنولوجيا التي أحدثت تحولاً في العالم في السنين الخمسين الأخيرة.

خلاصة:

إن عالم النسبية له قوانينه الخاصة المستقلة وهوعالم متكامل بذاته رائع الجمال حيث تكون الفيزياء في أجمل صورها... كنظريات...

إن مملكة الفوتونات الكائنة في كل مكان تلك التي تعيش في عالمنا وتخضع لقوانين النسبية...هي من أعظم الممالك في التاريخ... ولكن أعماقها العظيمة و أسرارها لم تكتشف بعد ولكن من يدري بعد حين ماذا يمكن أن يحدث؟؟ لربما أصبح بإمكاننا تحريك جسم عطالي بطريقة ما...و بالرغم من استحاليته الآن إلا أن العلم يخبئ أشياء جميلة... إن حركة الجسم العطالي بسرعة الضوء هو أمر مستحيل تماماً لذا فالسفر عبر الأزمان مستحيل بالنسبة لجسم عطالي إذا أردنا استخدام سرعة الضوء للسفر عبر الأزمان حسب قانون أينشتاين.

$$M=\frac{M\prime}{\sqrt{I-\frac{V^2}{C^2}}}$$

وهكذا تزداد كتلة الجسم لتصبح معدومة في اللانهايةأما بالنسبة للطول فحسب قانون أينشتاين

$$\mathbf{L = L'.B}$$

$$B=\sqrt[2]{1-\frac{V^2}{C^2}}$$

أي أن الطول لذا فسفر الأجسام العطالية عبر الزمن أمر مستحيل تماماً ...

المراجع

أولا : المراجع العربيه :

نيكولاس ويد Nicolas wade :الأوهام البصريه علمها وفنها - بغداد - 1988 - دار المأمون للترجمه والنشر - ترجمة مى مظفر.

سماهر بنت عبد الرحمن فلاته : فن الخداع البصري وإمكانيه إستحداث تصميمات جديده للحلى المعدنيه _ المملكه العربيه السعوديه - جامعه الملك سعود _ 2008.

محمد ترياقى :إعجاز الايات القرانيه فى دحض الخدع البصريه -مقاله اليكترونيه

دكتور شاكر عبد الحميد : الفنون البصريه وعبقريه الادراك _القاهره _ 2008_الهيئه المصريه العامه للكتاب

د. الشاتوري، سلمان- تطور الأزمنة الحقيقية في مسائل عدم التوازن من أجل نظرية المعايرة الصافية مع الزمرة SU(2) بالاعتماد على مؤثري البناء والهدم. مجلة جامعة تشرين- قبل للنشر في 11/12/2007

د. الشاتوري، سلمان- تطور الأزمنة الحقيقية في مسائل عدم التوازن من أجل نظرية المعايرة الصافيةمعالزمرة SU(3) بالاعتماد على مؤثري البناء والهدم. مجلة جامعة تشرين- قبل للنشر في 15/6/2008

ثانيا: المراجع الاجنبيه :-

Inward Eye: Original Serigraphs by Richard Anuszkiewicz and Words by William Blake-University of Wyoming Art Museum-2006
Perceptual Play: Optical Illusion Art as Radical Interface -Julian Oliver -2008
The Roget illusion ,the anorthoscope and the persistence of vision – james l.hunt -canada
Matter :The other name of illusion-Harun Yahya _1999
Jurgis Baltrusaitis., Anamorphosis, in mary in abramans puplish New York,1974.
ILGENFRITZ ,EM. and KRIPFGANZ , J.-Quantum liouville equation and nonequilibrium processes in quantum field theory phys. Lett . A. North-Holland vol.108,N° .3, 1985,PP. 133-136.
EBOLI , O.; JACKIW, R. and so-young pi.-Quantum fields out of thermal equilibrium phys. Rev .D, U.S.A . vol.37,N°.12, 1988 ,PP. 3557-3581.
AL-CHATOURI ,S.-Untersushungen zum realzeit-verhlten quantenfeldtheoritische modelle Dissertation, Leipzig uni.-1991-,101P.
GREINER ,W. Band 10 : Quanten chromodynamic Auflage , verlag Harri Deutsch , 1989

LUSCHER , M. Mass spectrum of YM gauge theories on a torus. Nucl . Physics B North-Holland vol. 219, N° .1, 1983,PP. 233-261 .

GREINER ,W. Band 5 : Quanten mechanic II. Auflage , verlag Harri Deutsch , 1984

GREINER ,W.,NEISE , L. and STOCKER , H., Band 9 thermodynamik und :statistishe Mechanic. 1. Auflage , verlag Harri Deutsch, 1987 , 484 .

LUSCHER , M. and MUNSTER, G. Weak-coupling expansion of the low-lying energy values in the SU(2) gauge theory on a torus.Nucl . Phys. B North-Holland vol. 232, N°.3, 1984,PP. 445-472

K0LLER, J. and VANBAAL, P.-SU(2) Spectroscopy intermediate volumes phys. Rev Lett. U.S.A vol. 58, N°.24, 1987,PP. 2511-2514

JACKIW,R. Mean field theory for non-equilibrium quantum fields. Physics A U.S.A vol. 158, N°.1 ,1989,PP.269-290.

VAN BAAL , P.and KOLLER , J. QCD on a torus, and electric flux energies from tunneling Ann. Phys . U.S.A. vol. 174, N° .2, 1987,299-371

KRIPFGANZ , J. and MICHAEL, C.-Fermionic contributions to the glueball spectrum in a small volume phys. Lett.B North-Holland vol. 209, N°.1, 1988, 77-79.
FRAGA , E.S. ; KODAMA , T. ; KREIN , G. ; MIZHER ,J. and PALHARES , L.F.-Dissipotion and memory effects in pure glue deconfinement. Nuclear physics A-North Holland vol. 785, N° .1-2, 2007, 138-141.
ALEXEI BAZAVOV ,A. ; BERND BERG, and VERLYTSKY ,A.-Non-equilibrium signals of the SU(3) deconfining phase transition Pos U.S.A. Vol 127, 2006, 1-7
BERGES, J. and BORSANYI, SZ.-Progress in non-equilibrium quantum field theory III nuclear physics A , North-Holland vol. 785, N°. 1-2, 2007, 58-67.
H.Kamerlingh Onnes, Leiden comm. 119b, 120b, 124c (1911).
W. Meissner and R. Ochsenfeld, Naturwissenchaften, 21, 787 (1933).
A.Bourdillon and N.X. Tan Bourdillon, High Temperature Superconductors, New York (1994).
Charles Kittel, Introduction to Solid state Physics, Jokn Wiley & Sons, Inc. (1986).
M.F. Crommie, L.C. Bourne, A.Zetti and A.Stacy, Phys. Rev. B 35, 8853 (1987).

J. Bardeen, L.N. Cooper and J. R. Schrieffer, Phys. Rev. 106, 162 (1957); 108,1175 (1957).
J.G. Bendnortz and K.A. Muller, Z.Phys. B 64, 189 (1987).
J.M. Tarascon, L.H. Greene, W.R. Mckinnon, G.W. Hull and T.H. Geballe, Science 235, 1373 (1987).
M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torny, F.H. Hor, R.L. Meng, L. Gao,Z. J. Huang, Y.Q. Wang and C.W. Chu, Phys.Rev. Lett. 58, 908 (1987).
H.Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutomi and T. Asano, JPN.J. Appl. Phys. 27, L209 (1988).
Z.Z. Sheng and A.M. Hermann, Nature 332, 138 (1988).
A.Shilling, M.Cantoni, J.D. Guo and H.R. Ott, Nature 363, 56 (1993); S.N. Putiling , E.V. Antipov, Chmaissen and M. Marezio, Nature 362, 226 (1993).
B.A. Hunter, J.D. Jorgensen, J.L. Wanger, R.L. Hitterman and R.B. Von Dreele, Physica C 221, 1 (1994).
J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani and J. Akimitsu, Nature 410, 63 (2001).
A.Barone and Paterno, Physics and Applications of the Josephson Effect, wiley, (1982).
C. Francke, M. Offiner, A. Kramer, L. Mex and J.Muller, Supercond. Sci. Technol. 11, 1311 (1998).

Rohlf, James William, Modern Physics from A to Z, wiely (1994).
S'erway and Beichner, Physics for scientists and engineers, 5th. Edition, USA, (2002) .
Guenter Ahlers , David S . Cannell , Lars Inge Berge , and Shinichi Skurai , Thermal conductivity of the nematic liquid crystal 4-n-pentyl-4-cyanobiphenyl ,49,1, (1994) .
Kiyohi Torizuka and Hiroyuki Tajima , Technique for thermal conductivity measurements for organic materials over a wide temperature range , AIP Journals, 5 ,277-8581 , (2005) .
Bueche. J and Hecht. E, Schaum's outline college physics , 9th. Edition, , (1997).
H.E. Abood , M.Sc. Thesis , Al-Basrah university , Iraq , (1992)
.James. S. Walker, Physics , USA, (2002) .
A.J. Al - Hamadani , Private Communication Letter , Basrah university , Iraq , (2010) .
Abdul-Aziz O. and Karar Abd-Ali O. , Preparation and Study Thermal Properties ofa Nematic Liquid Crystal Prepareted from Schiff Basses as a Function ofTemperatures, Babylon Univ. Journal , 19 , 1 , (2010) .